

Camilla Oksanen

Palvelutalon lämmitysjärjestelmä Case Attendo Oy

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

8.4.2016

Tekijä Otsikko	Camilla Oksanen Hoivakiinteistön lämmitysjärjestelmä - Case Attendo Oy
Sivumäärä Aika	49 sivua 8.4.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, tuotantopainotteinen
Ohjaajat	lehtori Hanna Stammeier kiinteistöpäällikkö Antti Terho talotekniikka-asiantuntija Antti Ollikka
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia maalämmön ja kaukolämmön kannattavuutta palvelutalon lämmitysjärjestelminä. Työssä verrattiin lämmitysjärjestelmien energiankulutusta ja kustannustehokkuutta. Työn teoriaosuudessa syvennettiin myös rakennus- ja kiinteistöalan energiatehokkuutta ohjaaviin lainsäädäntöihin EU:ssa ja Suomessa.</p> <p>Työ laadittiin yhteistyössä hoivapalveluja tarjoavan Attendo Oy:n kanssa. Käytännön tutkimus kohdistui kahteen ominaisuuksiltaan samankaltaiseen hoivakiinteistöön, joiden energiankulutusta vertailtiin olemassa olevien kulutuslukemien avulla. Toimeksiantajalta saatujen kustannustietojen kautta suoritettiin elinkaarikustannuslaskentaa järjestelmien taloudellisen tuottavuuden tutkimiseksi.</p> <p>Kulutusvertailun tulokset osoittivat maalämmön lämmitysenergiankulutuksen kustannukset noin 30 % pienemmäksi kaukolämpöön verrattuna. Elinkaarikustannuslaskelmissa huomioidujen investointikustannusten vaikutuksesta maalämpö oli 25 vuoden tarkastelujaksolla kannattavampi ratkaisu. Pidennettäessä tarkastelujaksoa 50 vuoteen maalämpö säilyi edelleen edullisempänä vaihtoehtona. Arvokkaasta investoinnista huolimatta maalämpö saavutti kaukolämmön kokonaiskustannusten nykyarvon kohteesta riippuen 13. ja 20. käyttövuoden kohdalla.</p> <p>Yhteenvedona työstä todetaan sen tuoneen esille tärkeää tietoa tekijöistä lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannusten takana. Yritys sai myös vertailutietoa kahdesta järjestelmästä ja niiden kannattavuudesta kyseisissä 15 asukkaan hoivarakennuksessa. Tämän työn pohjalta toimeksiantaja voi arvioida tulevaisuuden energiaratkaisuja entistä tarkemmin.</p>	
Avainsanat	energiatehokkuus, energiankulutus, lämmitys, maalämpö, kaukolämpö, elinkaari, elinkaarikustannus.

Author	Camilla Oksanen
Title	Heating system in a sheltered accommodation - Case Attendo Oy
Number of Pages	49 pages
Date	8 April 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Services Engineering, production orientation
Instructors	Hanna Stammeier, Senior Lecturer Antti Terho, Real Estate Manager Antti Ollikka, Head of HVAC Services Engineering
<p>The purpose of this final year project was to study the profitability of two common heating systems; geothermal and district heating. The aim was to find the most cost effective solution for a larger building through examining energy efficiency and essential life cycle cost factors. The thesis also clarified the legislation behind energy efficiency demands and explained the operational principals of each system. The main goal was to point out a system that would minimize the buildings energy consumption and also be economically lucrative.</p> <p>By using measurement data from year 2014, the study compared heating energy consumption of two almost identical nursing homes of which one exploited geothermal energy and the other was connected to a district heating network. As a part of the comparison the thesis included LCC (Life-cycle cost) calculations that identified the life-cycle cost factors as well as the cost effectiveness of the systems.</p> <p>The results showed that heating energy consumption of the geothermal system was significantly lower compared to district heating. The life cycle cost calculations also proved that during a 25 year period, ground source heating was more favorable. The costs of the two systems met after 13 to 20 years of use depending on the consumption levels. As a conclusion geothermal heating was a more cost effective alternative for a nursing home.</p> <p>Through this study the service provider was given beneficial information of the differences between two service units. As far as the LCC calculations, results will guide future choices. By using this study the organisation is able to overview costs and added value factors when investing in an energy efficient heating system.</p>	
Keywords	energy efficiency, energy consumption, ground source heating, district heating, life cycle calculations.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tavoitteet	2
1.3	Rajaukset ja toteutus	2
2	Energia- ja ilmastopolitiikan taustat ja tavoitteet	3
2.1	Kansainväliset säädökset	3
2.1.1	Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD)	3
2.1.2	Uusiutuvan energian direktiivi (RES)	3
2.1.3	Energiatehokkuusdirektiivi (EED)	4
2.2	Kansallinen lainsäädäntö	4
2.2.1	Rakentamismääräyskokoelma ja asetukset	5
2.2.2	Energiamääräykset muutos- ja korjausrakentamisessa	5
2.2.3	E-luku ja energiatodistuslaki	6
2.2.4	FInZEB-hanke	7
3	Lämmitysjärjestelmät	8
3.1	Maalämpö	8
3.1.1	Toimintaperiaate	9
3.1.2	Maalämpöpumpputyypit	11
3.2	Kaukolämpö	14
3.2.1	Toimintaperiaate ja edellytykset	14
4	Case Attendo – yksiköiden energiankulutusvertailu	15
4.1	Hoivakoti Villa Hätilä	16
4.1.1	Kohteen esittely	16
4.1.2	Kohteen lämmitysjärjestelmä	16
4.1.3	Lämmitysenergian kulutus	18
4.2	Hoivakoti Tuulentupa	19
4.2.1	Kohteen esittely	19
4.2.2	Kohteen lämmitysjärjestelmä	20
4.2.3	Lämmitysenergian kulutus	20
4.3	Energiankulutusten normeeraus	21

4.4	Vertailu ja johtopäätökset	22
5	Elinkaarikustannuslaskenta	23
5.1	Elinkaarikustannuksiin vaikuttavat tekijät	25
5.2	Elinkaarikustannusten laskentamallit	27
5.2.1	Takaisinmaksuaika	27
5.2.2	Nykyarvomenetelmä	28
6	Laskelmat ja vertailu	29
6.1	Lähtötiedot	29
6.2	Villa Hätilän tulokset 25 vuoden tarkastelujaksolla	31
6.3	Villa Hätilän tulokset 50 vuoden tarkastelujaksolla	33
6.4	Tuulentuvan tulokset 25 vuoden tarkastelujaksolla	35
	Kaukolämmön erittely on puolestaan esitetty taulukossa 9.	36
6.5	Tuulentuvan tulokset 50 vuoden tarkastelujaksolla	37
6.6	Yhteenveto	39
7	Maalämmön haasteet ja asiantuntijoiden näkemykset	40
7.1	Maalämmön tekniikan luotettavuus	40
7.2	Mitoituksen haasteet	41
7.2.1	Energiakaivot	41
7.2.2	Maalämpölaitteisto	42
7.3	Suunnittelun puutteellisuus	42
7.4	Asennus- ja käyttövirheet	43
8	Päätelmät	45
	Lähteet	47

Lyhenteet

COP	<i>Capacity of Performance</i> . Lämpökerroin. Ilmaisee lämpöpumpun käyttämän ja tuottaman energiamäärän suhteen.
EPBD	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i> . Rakennusten energiatehokusdirektiivi.
EED	<i>Energy Efficiency Directive</i> . Energiatehokkusdirektiivi.
FInZEB	Suomalainen hanke ”lähes nollaenergiarakennuksen” ominaisuuksien määrittelymiseksi kansallisellatasolla.
NEEAP	<i>National Energy Efficiency Action Plan</i> . Kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma.
nZEB	<i>Nearly Zero-Energy Building</i> . Lähes nollaenergiarakennus. Rakennusten energiatehokkusdirektiivin kehittämä määritelmä erittäin energiatehokkaalle rakennukselle.
RES	<i>Renewable Energy Directive</i> . Uusiutuvan energian direktiivi.
SFP	Seasonal Factor of Performance.
TRT	<i>ThermalResponseTest</i> . Terminen vastetestti kallioperän lämmönjohtavuuden määrittämiseksi osana maalämpölaitteiston suunnittelua.

1 Johdanto

Energiatehokkuuden lisäämiseksi kansainväliset direktiivit asettavat jatkuvasti uusia toimintalinjoja ja kansalliset tavoitteet täydentävät niitä tiuhaan muuttuvin määräyksin. 2000-luvulla on linjattu merkittäviä uudistuksia energiatehokkuuden parantamiseksi ja matalaenergiarakennukset alkavat olla jo arkipäivää. Tiukennukset antavat ajattelemisen aihetta erityisesti suuren kulutuksen omaavien isojen rakennusten omistajille ja kiinteistösijoittajille. Kiinteistö- ja rakennusalaan kohdistuu monialaista valvontaa, ja ympäristötavoitteiden lisäksi on pohdittava myös taloudellisia näkökulmia. Teknologian kehityksen myötä niin pientalojen omistajat kuin suuren energiankulutuksen omaavat tahot voivat tehdä uusia, energiatehokkaampia valintoja ja alentaa lämmitysenergiaa kuluttavien kiinteistöjen energiamaksuja. Rakennusten lämmitysjärjestelmien valinta on muuttunut monitahoisemmaksi. Talotekniikan näkökulmasta haasteellista valinnoista tekee yhä tiukentuvat vaatimukset sekä järjestelmien nopea kehitysvauhti. Oikean kokonaisuuden löytyminen vaatii tarkkaa perehtymistä vaatimuksiin, vaihtoehtoihin järjestelmiin ja järjestelmien koko elinkaaren kattaviin taloudellisiin vaikutuksiin.

Opinnäytetyössä perehdytään lyhyesti energiapolitiisiin suuntaviivoihin ja energiankulutusta määrittäviin tekijöihin. Työn yhtenä osana suoritetaan perustutkimusta, joka tuottaa mittaustietoa yksityiselle hoiva-alan yritykselle sen kahden palveluyksikön energiankulutuksesta. Kulutustietojen pohjalta laaditaan lisäksi elinkaarikustannuslaskelmia järjestelmien kannattavuuden vertailemiseksi. Tutkimusta tukee teoriaan pohjautuva tieto energiavaatimuksista, lämmitysjärjestelmien toiminnasta ja elinkaarikustannuksista. Tässä työssä myös perehdytään asiantuntijahaastattelujen pohjalta maailmälämmön haasteisiin ja erityisvaatimuksiin. Tutkimus on rajattu käsittelemään pääasiassa tilojen ja käyttöveden lämmitykseen kuluvaan energian käyttöä. Työn laajuuden selkeyttämiseksi rajauksen ulkopuolelle on jätetty rakennustekniset näkökulmat sekä puhtaasti sähköiset talotekniset järjestelmät. Niin tutkimus kuin teoria tulevat painottamaan maalämpöä ja kaukolämpöä työn kannalta olennaisimpina järjestelminä.

1.1 Tausta

Attendo Oy omistaa ja vuokraa useita kiinteistöjä Suomessa ja on yksi suurimmista hoiva- ja terveyspalveluja tuottavista yrityksistä Pohjoismaissa. Insinööritoiminnan taustalla on yrityksen tarve kartoittaa hoiva- ja palvelukotien energiankulutusta ja kustannuste-

hokkuutta. Tällä hetkellä Attendo Oy:n kiinteistökanta koostuu pääosin 15-, 30- ja 60-paikkaisista palveluyksiköistä, joiden niin arkkitehtuurinen kuin rakennus- ja talotekninen konsepti noudattavat hyvin pitkälle samanlaista mallia. Kiinteistöjen lämmöntuotantoyksiköissä on kuitenkin vaihtelevuutta, kun osa yksiköistä hyödyntää ekologisempaa maalämpöä ja osa perinteisempää kaukolämpöä.

Attendo Oy:n käytettävissä on ajantasaista mittaustietoa kiinteistökohtaisesta energiankulutuksesta, mutta taloteknisen yksikön kiinnostuksen kohteeksi ovat nousseet kulutuserot sekä elinkaarikustannukselliset tekijät järjestelmien välillä. Vertailutiedot auttavat yritystä kulutuksen seurannassa ja kustannustehokkaimman lämmitysratkaisun valinnassa. Yrityksen jatkuviksi tarpeiksi muodostuvat keinot kulutuksen vähentämiseksi ja kustannustehokkuuden lisäämiseksi. Näin ollen yrityksellä on tarve laajemmalle, vertailevalle tutkimukselle.

1.2 Tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on kartoittaa Attendo Oy:lle kustannustehokas ja tulevaisuuden tarpeisiin soveltuva lämmitys- ja jäähdytysratkaisu. Tutkimuksessa tuotetaan yritykselle tietoa yksiköiden energiankulutuksesta ja kauko- sekä maalämmitysjärjestelmien erityispiirteistä. Tavoitteena on perehtyä järjestelmien kannattavuuteen niiden koko elinkaari huomioiden. Elinkaarikustannuslaskelmat tarjoavat konkreettisia lukuja yrityksen taloteknisten valintojen tueksi.

1.3 Rajaukset ja toteutus

Tämä tutkimus on rajattu kahden kiinteistön lämmitysratkaisun vertailuun. Kohteet koostuvat noin 15 asukkaan palveluyksiköistä, joista toinen sijaitsee Huittisissa ja toinen Hämeenlinnassa. Hämeenlinnan kohteessa on käytössä maalämpö- ja viileäjärjestelmä ja Huittisten yksikössä hyödynnetään perinteistä kaukolämpöä. Pääpaino tutkimuksessa on lämmitysenergian kulutuksen tarkastelussa, siihen vaikuttavissa tekijöissä ja elinkaarilaskelmissa.

Tutkimuksessa hyödynnetty aineisto koostuu toimeksiantajalla olemassa olevista kiinteistöjen lämpö- ja sähköenergian kulutustiedoista. Puuttuneiden lähtötietojen osalta laskelmissa on hyödynnetty asiantuntijalausuntoja ja alan yleisiä arviolukuja. Tutkimus-

ta tukevana materiaalina käytetään LVI-alan oppikirjoja, raportteja, artikkeleita sekä niin kansallisia kuin kansainvälisiäkin rakentamismääräyksiä sekä -ohjeita. Kehitysehdotuksissa ja konkreettisissa järjestelmätoteutuksissa hyödynnetään lisäksi valmistajien tuote-esitteitä sekä tutkimustietoa.

2 Energia- ja ilmastopolitiikan taustat ja tavoitteet

2.1 Kansainväliset säädökset

Euroopan unionin jäsenmaana Suomen kansallista energia- ja ilmastopolitiikkaa ohjaa kansainvälisesti asetettavat lainsäädäntöohjeet. EU:n ohjeet ja YK:n ilmastopöytäkirja asettavat raamit kansalliselle lainsäädännölle, mutta kukin valtio vastaa itsenäisesti niistä toimista, joilla se pyrkii saavuttamaan kansainvälisesti asetetut tavoitteet. Direktiivien kirjo on moninainen, mutta ne kaikki pyrkivät energiankulutuksen pienennyksiin ja päästöjen hillitsemiseen. [1; 2.]

2.1.1 Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (EPBD)

Vuoden 2020 loppuun mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nolla-energiarakennuksia. Viranomaisten käytössä ja omistuksessa olevia rakennuksia tämä koskee jo vuoden 2019 alusta alkaen. Määräys perustuu Euroopan unionin asettamaan rakennusten energiatehokkuusdirektiiviin 2010/31/EU, jonka yleistavoitteena on vuoteen 2020 mennessä vähentää kasvihuonepäästöjä vähintään 20 % vuoden 1990 tasosta. Direktiivin kuvaamalta rakennukselta edellytetään erittäin korkeaa energiatehokkuutta. Lähes olematon energiantarve tulisi olla katettavissa uusiutuvilla energiamuodoilla, mukaan lukien paikan päällä tai lähistöllä tuotettava uusiutuva energia. Direktiiviä sovelletaan kansallisella tasolla huomioiden jäsenmaiden ilmasto-olosuhteet, sisäilmastovaatimukset ja kustannustehokkuus. [1; 2; 3.]

2.1.2 Uusiutuvan energian direktiivi (RES)

Energiatehokkuutta tukeva RES-direktiivi asettaa tavoitteita uusiutuvan energian lisäämiseksi. Jokaiselle jäsenmaalle on asetettu omat tavoitteet, joiden saavuttamisesta vastaavat maat itse. Direktiivi edellyttää, että vuoden 2014 loppuun mennessä valtioi-

den on edellytettävä uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian vähimmäistasoa uusissa ja kunnostettavissa rakennuksissa. Suomella on maakohtaisena tavoitteena nostaa vuoteen 2020 mennessä uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta 38 prosenttiin, kun se vuonna 2005 oli 28,5 prosenttia. Todennäköisesti vuonna 2020 nämäkin tavoitteet päivitetään. Nähtävissä on tavoite, jonka mukaan uusiutuvien energialähteiden osuus olisi jo 100 % vuoteen 2050 mennessä. [1; 2.]

2.1.3 Energiatehokkuusdirektiivi (EED)

Kolmas merkittävä säännös on energiatehokkuusdirektiivi, joka sisältää toimenpiteitä energiatehokkuuden lisäämiseksi. Vuonna 2012 asetettu EED korvaa aikaisemman energiapalveludirektiivin, joka ohjasi muun muassa energian tehokasta loppukäyttöä. Energiatehokkuusdirektiivi on laajentanut energiamääräysten vaikutusaluetta pidemmälle korjausrakentamisenkin puolelle. Se velvoittaa Suomea laatimaan pitkän aikavälin strategian koskien erityisesti energiatehokkuuden lisäämistä olemassa olevan rakennuskannan peruskorjaamisessa. Tämän takaamiseksi jäsenmaat laativat kolmen vuoden välein kansallisen energiatehokkuuden toimintasuunnitelman (NEEAP). Lisäksi valtioiden on toimitettava komissiolle joka vuosi erillinen vuosiraportti, jonka avulla arvioidaan energiatehokkuuden kehittymistä ja tavoitteiden toteutumista.

Direktiivillä on vaikutuksia myös uudisrakentamiseen, kun kyse on esimerkiksi julkisten hankintojen tekemisestä osana rakennusten korjaamista, energiankulutuksen mittaamista tai energiakatselmuksia. [1; 2.]

2.2 Kansallinen lainsäädäntö

Suomi on Euroopan unionin jäsenmaana sitoutunut lukuisiin hankkeisiin energiatehokkuuden lisäämiseksi. Suomi on keskittynyt matalaenergiarakentamiseen jo vuodesta 2010 lähtien, kun se tiukensi rakentamismääräyksiä noin 30 prosentilla. Vuoden 2012 energiamääräykset kiristivät vaatimuksia entisestään pyrkimyksenä tehostaa energian käyttöä ja vähentää päästöjä merkittävästi vuoteen 2050 mennessä. Rakennusten energiankäytön ollessa yli 40 prosenttia Suomen energiankokonaiskulutuksesta on päästövähennysten kohdistaminen rakennusosalalle osoittautunut kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi. Parhaimmat tulokset on saavutettu lisäämällä uusiutuvia energialähteitä, tehostamalla sähkön käyttöä, kehittämällä lämmön talteenottoa ja vähentämällä

lämpöhäviöitä. Näitä toimenpiteitä edistävillä säädöksillä toimeenpannaan direktiivejä ja edistetään samalla Suomen omia tavoitteita tehokkaamman energiankäytön suhteen. Ohjauksen ja valvonnan kautta pyritään pienentämään käytönaikaisia kustannuksia ja hillitsemään asumiskustannusten nousua energiahintojen noustessa. [1; 2; 4.]

2.2.1 Rakentamismääräyskokoelma ja asetukset

Maankäyttö- ja rakennuslaki käsittelee yleisellä tasolla rakentamisen edellytyksiä, teknisiä vaatimuksia ja viranomaismenettelyä. Yksityiskohtaisesti rakentamista koskevat, velvoittavat säännökset on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Ne käsittelevät myös ministeriön antamia ohjeita, jotka eivät kuitenkaan ole velvoittavia. Rakentamismääräyskokoelman D-osa käsittelee pelkästään energiataloutta ja rakentamisen taloteknisiä vaatimuksia. Erityisesti osion kolmas kohta D3 kokoa rakennusten energiatehokkuusvaatimukset yhdeksi kokonaisuudeksi. Pääasiassa määräykset koskevat uuden rakennuksen rakentamista. Niitä on sovellettu kuitenkin muutos- ja korjausrakentamisen puolelle toimenpiteen laatu ja laajuus sekä käyttötavan muutos huomioon. [5]

2.2.2 Energiamääräykset muutos- ja korjausrakentamisessa

Suomen olemassa olevienkin rakennusten vaikutukset energiankulutukseen ja päästöihin kestävät vuosikymmeniä, johtuen rakennusten pitkäikäisestä suunnittelusta ja toteutuksesta. Ympäristöministeriö loi vuonna 2013 asetuksen rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Sen tavoitteena on vähentää nykyisen rakennuskannan energiankulutusta noin 6 prosentilla vuoteen 2020 mennessä. Vuoden 2050 pitkän aikavälin tavoitteissa tämä tarkoittaa jo noin 25 % pienennystä. Tämän taustalla vaikuttaa energiatehokkuusdirektiivi, joka velvoittaa kehittämään toimenpiteitä myös kunnostettavien rakennusten saattamiseksi lähes nollaenergiarakennuksiksi.

Asetus edellyttää energiatehokkuuden vähimmäisvaatimuksia rakennuksilta, joiden käyttötarkoitus muuttuu olennaisesti, teknisiä järjestelmiä uusitaan tai joille suoritetaan muita luvanvaraisia korjaustoimenpiteitä. Energiasaneeraus on hyvä toteuttaa osana muuta rakennuksen korjaushanketta. Energiankäytölliset parannukset toteutetaan kuitenkin vain, jos ne ovat teknisesti toteutettavissa ja toiminnallisesti sekä taloudellisesti mahdollisia ilman yleistä korjausvelvoitetta. [6; 7; 8.]

Asetus antaa hankkeeseen ryhtyvälle rakennuksen omistajalle vapauden valita kolmen vaihtoehdon joukosta sopivimman tavan tehostaa energiankäyttöään. Ensimmäinen vaihtoehto on vähentää lämpöhäviöitä parantamalla rakennuksen lämmönpitävyyttä. Asetuksen neljäs pykälä listaa selkeästi lämpöjohtumisen vaatimukset rakennusosakohtaisesti. [6; 7.]

Toinen vaihtoehto on noudattaa asetuksessa annettua rakennustyyppin kulutusvaatimusta ($\text{kWh/m}^2/\text{vuosi}$), jolloin standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta pienennetään sille määritetylle tasolle. [6; 7.]

Kolmas vaihtoehto on laskea rakennukselle kokonaisenergiankulutus eli E-luku ja pienentää kulutusta kyseiselle rakennustyyppille asetetun tason mukaisesti. Asetus esittää rakennustyyppikohtaiset kaavat ja raja-arvot kulutuksen määrittämiseksi. [6; 7.]

2.2.3 E-luku ja energiatodistuslaki

Energiatodistuslaki ja -asetus ovat olleet Suomessa käytössä vuodesta 2008 ja nykyisen muotonsa se sai vuoden 2013 muutosten myötä. Laki toteutti direktiiviä rakennusten energiatehokkuudesta energiatodistusta koskevilta osin. Energiatodistuksen tavoitteena on nostaa energiatehokkuus oleelliseksi suunnittelun kriteeriksi ja herättää käyttäjien kiinnostus rakennusten energiankäyttöä kohtaan. Vertailun ja raja-arvojen myötä halutaan edistää lisäksi uusiutuvan energian käyttöä rakennuksissa. [9]

Energiatodistus tarvitaan aina uusille rakennuksille ja se laaditaan rakennuslupavaiheessa. Energiatodistus vaaditaan myös silloin, kun rakennuksen korjaustoimenpide edellyttää rakennuslupaa. Olemassa oleville rakennuksille todistus tarvitaan aina myynnin tai vuokrauksen yhteydessä. Uudistetut todistukset ovat tulleet käyttöön vaiheittain, ja vuonna 2017 se tulee koskemaan myös ennen vuotta 1980 käyttöönotettuja pientaloja. Energiatodistuksen piiriin eivät kuulu alle 50-neliöiset tai suojelun alaiset rakennukset eivätkä loma-asunnot, joissa ei ole ympärivuotisen käytön omaavaa lämmitysjärjestelmää. [9]

Energiatehokkuuden määritelmien ja kertoimien taustalla vaikuttavat 1.7.2012 voimaan tulleet uudet energiamääräykset. Energiatodistus perustuu laskennalliseen E-lukuun, joka koostuu rakennuksen standardikäytön mukaisesta, vuotuisesta ostoenergiankulutuksesta painotettuna eri energiamuotojen kertoimilla. Kerroin riippuu hyödynnettävästä

energiamuodosta suosien ympäristöystävällisiä muotoja. Kiinteä luku ilmaistaan yksiköllä kWh/m²/vuosi ja sitä arvioidaan yksinkertaisella, kodinkoneista tutulla luokitusasteikolla, A-luokan ilmaistessa pienintä kulutusta. Luokitusasteikkoja on useampi eri rakennustyypeille pinta-alan ja käyttötarkoituksen mukaan. Energialuokkaan voidaan vaikuttaa eri tekijöillä, kuten valitsemalla rakennukseen pienemmän kertoimen energianlähde. [9; 10.]

Todistus perustuu puhtaasti rakennuksen ominaisuuksiin, huomioiden muun muassa rakenteet, eristyksen, ikkunat, ilmanvaihdon ja lämmityksen. Se ei huomioi rakennuksen käyttäjien energiankulutustottumuksia, eikä siten kuvaa rakennuksen todellista kulutusta. Käyttäjien toiminnot vaikuttavat kuitenkin suuresti kulutukseen. Esimerkiksi ilmanvaihdon ilmamäärät, lämmityksen ja ilmanvaihdon käyttöajat sekä lämpökuormat voivat poiketa olennaisesti standardikäytöstä. Todistus on saanut osakseen kritiikkiä myös energiakertoimista, jotka vaikeuttavat käytännön vertailua. Tänä vuonna energiatodistustyöryhmä linjasi raportissaan, että todistus tulee muuttumaan ja pientalojen osalta energialuokat tulevat perustumaan laskennalliseen kulutukseen ilman kerrointa. Kertoimien tasot tullaan myös tarkistamaan. Nykyiset energiamuotokertoimet on säädetty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 (2012) seuraavasti:

• sähkö	1,7	
• kaukolämpö	0,7	
• kaukojäähdytys	0,4	
• fossiiliset polttoaineet	1,0	
• uusiutuvat polttoaineet	0,5	[9; 10; 11.]

2.2.4 FInZEB-hanke

EPBD-direktiivin tiukat vaatimukset ja tulkinnanvaraisuus laukaisi hankkeen, jonka tehtävänä oli selvittää kuinka kansalliset vaatimukset asetettaisiin tarvittavissa määrin ja kustannustehokkaasti. Hankkeeseen kerättiin joukko parhaita asiantuntijoita, joiden tehtävänä oli luoda kansalliset tulkinnat nZEB -määritelmille huomioiden muut aihealueen direktiivit ja määräykset. Hankkeessa tehtiin laskentatarkasteluja ja hyödynnettiin olemassa olevaa tutkimusta ja pilottikohteita. Loppuraportti julkaistiin keväällä 2015 tulosseminaarissa. Hankkeen tuloksena syntyi arvokasta tutkimus- ja taustatietoa sekä ehdotukset rakennustyyppikohtaisiksi nZEB-E-luvuiksi. Pilotoinnin pohjalta syntyi

suunnittelu- ja hankintamenettelyohjeet tulevaisuuden nollaenergiatasoiselle kiinteistölle. [12]

3 Lämmitysjärjestelmät

3.1 Maalämpö

Maalämmössä lämpö kerätään nimensä mukaisesti maaperästä, joka on lämmennyt auringon ja maan ytimen radioaktiivisten hajoamisten seurauksena. Maanpinnan keskilämpötilaan vaikuttaa oleellisesti ilman lämpötila, mutta noin 15 metrin syvyydessä on maaperän lämpötila Etelä-Suomessa lähes vakio; noin 5 astetta. Syvemmälle maaperään porattaessa lämpötila kohoaa noin asteen jokaista sataa metriä kohden. [13]

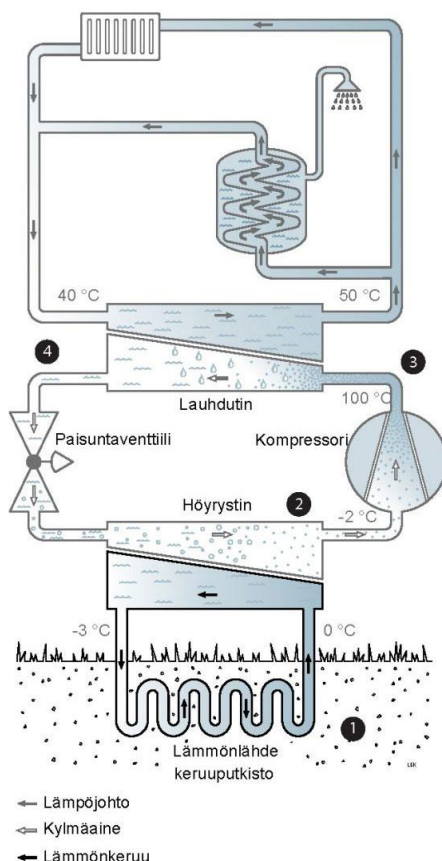
Lämpöpumput nykypäivänä edustavat ennen kaikkea ekologisuutta, sillä ne hyödyntävät uusiutuvaa energiaa. Energiahintojen noustessa arvokkaat lämpöpumput ovat tulleet hyvin kilpailukykyisiksi muiden lämmönlähteiden rinnalla. Kaikkien lämpöpumppujen toimintaperiaate on samankaltainen. Ne keräävät lämpöenergiaa ilmasta, maasta tai vedestä ja siirtävät sen eri väliaineita hyödyntäen sisälle rakennukseen. Lämpöpumppuja voidaan käyttää myös tilojen viilennykseen, jolloin toimintaprosessi on päinvastainen. Kaikkien lämpöpumppujen kompressorikoneistot ja kiertovesipumput tarvitsevat toimiakseen sähköä, mutta energiatehokkuus ilmenee laitteen kyvyssä tuottaa jopa kolminkertainen määrä energiaa sen omaan sähkönkulutukseen verrattuna. Tätä suorituskkyä kuvaa lämpökerroin, josta käytetään yleisesti lyhennettä COP (Capacity of Performance). Monilla lämpöpumpuilla realistinen COP voi nykyään olla jopa 3,0–4,0, ja järjestelmiä kehitetään jatkuvasti. Lämpökerroin riippuu kuitenkin monesta tekijästä, mutta ratkaisevia ovat lämpökaivosta tulevan keruunesteen lämpötila ja lämmönjakojärjestelmän menovirtauksen lämpötila. Mitä pienempi ero on näiden kahden suureen välillä, sitä vähemmän kompressorin tarvitsee tehdä työtä ja hyötysuhde paranee. Onkin selvää, että käyttöveden lämmittämisen yhteydessä hyötysuhde on heikompi, sillä saavutettava lämpötila on yli 50 astetta, kun tilalämmitys vaatii parhaimmillaan vain noin 30 asteen lämpötilan. [13; 14.]

Lämpökertoimen rinnalla puhutaan usein myös SFP-luvusta (Seasonal Performance Factor), jota käytetään verrattaessa lämpöpumpulla tuotettua lämmitysenergiaa osaan,

jonka se tuottaa sähköllä. SFP-lukua voidaan kuitenkin käyttää ainoastaan, jos tarkastellaan koko vuoden lämmitysenergian tarvetta. [13]

3.1.1 Toimintaperiaate

Maalämpöpumpun tehtävä on yhdistää lämmönkeruuputkisto ja rakennuksen lämmönjakojärjestelmä ja siirtää lämpöenergiaa näiden piirien välillä. Kokonaisuus koostuu kuvan 1 mukaisesti kolmesta erillisestä kiertopiiristä, jotka ovat yhdistetty lämpöpumpun lämmönvaihtimien, höyrystimen ja lauhduttimen, avulla. Keruuputkistossa kiertävä jäätymätön etanoliliuos lämpenee joka kierroksella muutaman asteen maan lämmöstä. Lämpöpumpun höyrystimessä keruunesteen lämpö siirtyy pumpussa kiertävään kylmäaineeseen. Kylmäaineen toiminta perustuu sen alhaiseen kiehumispisteeseen, jolloin se kaasuuntuu jo muutaman lämpöasteen vaikutuksesta. Maalämpöpumpun kompressorissa kaasu puristetaan hyvin korkeaan paineeseen, jolloin kaasun lämpötila saavuttaa jo lähes 100 asteen lämpötilan. Kuumentunut kylmäainekaasu ohjautuu seuraavaksi lauhduttimeen, jossa se luovuttaa lämmön käyttövesivaraajaan ja rakennuksen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Luovuttaessaan lämpöä kylmäaine jäähtyy ja paisuntaventtiilin paineenalennuksen vaikutuksesta sen olomuoto tiivistyy jälleen nestemäiseksi, ja se aloittaa kiertonsa uudelleen. [15]



Kuva 1. Maalämpöpumpun toimintaperiaate.

Lämmön kerää ja tuo lämpöpumpulle vesi-etanoliliuos, joka kiertää maaperässä kulkevassa keruuputkistossa. Syväälle kallioperään porattu kaivo on yleisin keruuputkiston sijoituspaikka. Kaivon syvyys voi olla 100–250 metriä energiantarpeesta ja lämpöpumpusta riippuen. Lämpökaivon poraus on kallista, mutta energiansaanto on suuri, se on pitkäikäinen ja se mahdollistaa myös viilennyksen kesäaikaan. Lämmönkeruuputkisto voidaan asentaa myös pintamaahan, noin metrin syvyyteen. Tämä on kustannustehokas menetelmä, varsinkin jos maa-alaa on paljon ja sen kosteuspitoisuus on suuri, kuten savimaassa. Myös erilaiset vesistöt soveltuvat hyvin lämmönlähteiksi. Rakennuksen sijaitessa vesistön lähellä voidaan keruuputkisto ankkuroida pohjaan painojen avulla.

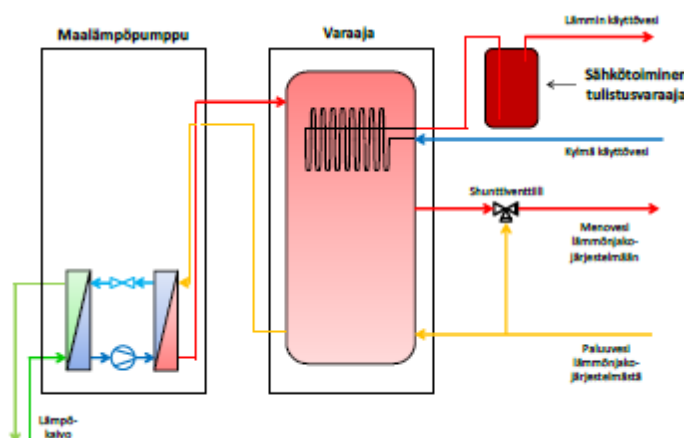
Maalämpöpumppu vaatii rinnalleen vesikiertoisen lämmönjakojärjestelmän. Paras hyötysuhde saavutetaan, kun lämpötilaero maasta tulevan lämmönkeruunesteestä ja lämmönjakojärjestelmän vaatiman lämpötilan välillä on mahdollisimman pieni. Mitä suurempi lämpöä luovuttavan elementin pinta-ala on, sitä alhaisempi on lämmönjakojärjestelmänmenoveden lämpötila. Maalämmön rinnalle suositellaankin vesikiertoista lattia-

lämmitystä, jonka menoveden lämpötila nostetaan vain noin +30 celsiusasteeseen. Eroa noin +5-asteiselle keruunesteelle on siis vain 25 astetta ja maalämpöpumppu toimii oikein hyvällä hyötysuhteella. Patteriverkosto voi puolestaan vaatia jopa 60-asteisen menoveden lämpötilan saman lämmönluovutustehon saavuttamiseksi huone-tilassa. [14]

3.1.2 Maalämpöpumpputyypit

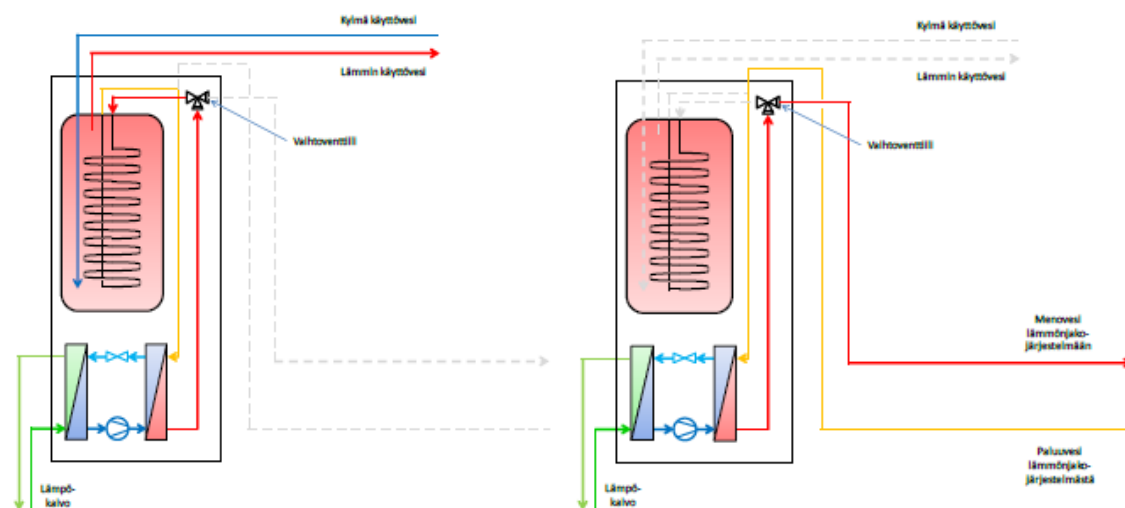
Maalämpöpumpputyyppejä on erilaisia, joista yleisimmät ovat kiinteä- ja vaihtuvalauhdutteiset sekä tulistusmaalämpöpumput. Tyypivalinta on aina suoritettava yksilöllisesti kohteen tarpeet huomioiden.

Kiinteälauhdutteisella maalämpöpumpulla (kuva 2) tuotetaan lämmintä vettä erilliseen lämminvesivaraajaan, josta lämmintä vettä ohjataan samanaikaisesti sekä käyttövesi-että lämmitysverkostoon. Lämminvesivaraajan yläosassa sijaitsee lämmityskierukka, jonka avulla lämmitetään korkeamman menoveden lämpötilan vaatimaa käyttövettä. Tämän tyyppisen maalämpöpumpun toimintaa ohjataan pääasiassa käyttöveden lämpötilavaatimusten mukaisesti. Jotta kompressori ei rasitu ja käyntijaksot saadaan pitkiä, on varaajan tilavuuden oltava tarpeeksi suuri. Käyttöveden riittävän saannin takaamiseksi, kuumaa vettä on tuotettava suureen varaajaan ympäri vuoden, mikä vaatii enemmän lämpöpumpulta. Kiinteälauhdutteisen lämpöpumpun sähkönkulutus onkin hieman suurempaa muihin pumpputyyppeihin nähden. [15]



Kuva 2. Kiinteälauhdutteisen maalämpöpumpun kytkentäperiaate.

Vaihtuvalauhdutteisella maalämpöpumpulla (kuva 3) käyttövettä ja tilojen lämmitysvettä tuotetaan eri aikaan virtaussuuntaa vaihtavan kolmitieventtiin avulla. Tuottaessaan lämmintä käyttövettä pumppu valmistaa koko tehollaan kuumaa vettä varaajan läpi kulkevaan kierukkaan, joka lämmittää varaajan nopeastikin haluttuun lämpötilaan. Kun haluttu lämpötila on saavutettu, lämpöpumppu siirtyy vaihteventtiin avulla tuottamaan lämmintä vettä lämmitysverkostoon, mikäli lämmitystarvetta on. Lämmitysverkostoon tuotettu menoveden lämpötila on nykyaikaisissa lämmönjakojärjestelmissä vain noin 30–40 asteen luokkaa. Lämpöä tuotetaan siis vain tarpeen mukaan ja alhaisemman lämpötilan tuottamiseksi tarvitaan vähemmän tehoa, jolloin laite käy hyvällä hyötysuhteella. Suurin osa laitteen käyntitunneista kuluukin nimenomaan tilojen lämmitykseen ja tällöin lämpökerroin on parhaimmillaan. Täten myös sähkönkulutus on pienempää muihin vaihtoehtoihin verrattuna. [15]

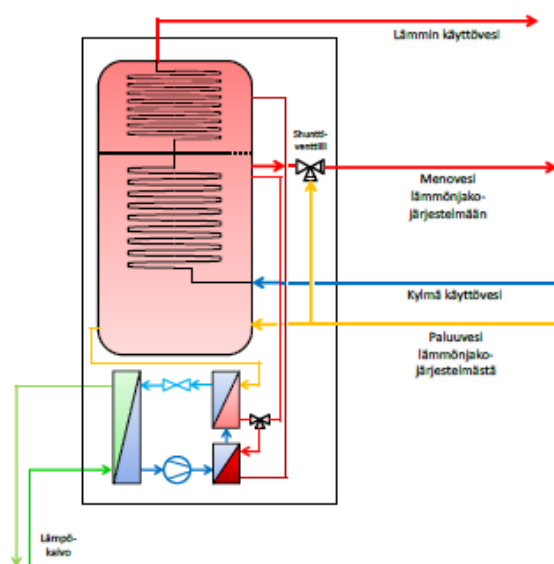


Kuva 3. Vaihtuvalauhdutteisen maalämpöpumpun toimintaperiaate. [15]

Vaihtuvalauhdutteisten maalämpöpumppujen joukkoon kuuluvat myös nykyään yleistyneet invertterikoneet eli kierroslukuohjattavat maalämpöpumput. Koneen kompressorin ja kiertovesipumppuja ohjataan portaattomasti tarpeen mukaan. Koska tehoa säädetään tarpeen mukaisesti, käy laite aina oikealla teholla, jolloin myös lämpökerroin on parhaimmillaan. Käyntijaksot ovat pidempiä ja käynnistyskertoja on vähemmän, mikä lisää laitteen käyttöikää. Optimoitu käyttö näkyy positiivisesti myös sähkönkulutuksessa verrattaessa tavalliseen vaihtuvalauhdutteiseen malliin. Pumpputyypin heikkona puolelta voidaan kuitenkin pitää sen suurempia investointikustannuksia. Invertterikone on käytännössä aina täystehomitoitettu, eli se kattaa satunnaisen huipputehontarpeen kovimmillakin pakkasilla ilman lisäsähkön tarvetta. Laitteen on oltava riittävän tehokas

ja lämpökaivon on oltava pidempi, jotta tarvittava määrä energiaa on saatavilla. Tehokkaampi laite ja ”ylimääräiset” porausmetrit vaikuttavat oleellisesti järjestelmän hintaan. [15]

Lämpimän käyttöveden vaatima korkea menoveden lämpötila asettaa haasteita maalämmön tavalliselle toimintaprosessille. Yleensä käyttöveden valmistuksessa hyödynnetään toista varajärjestelmää, joka usein on sähkökattilan tapainen suorasähkölämmitin. Varajärjestelmän vaihtoehtoksi on myös kehitetty lämpöpumppuja niin sanotulla tulistuslämmönvaihtimella, joka kerää suurimman lämpöenergian kompressorin jälkeisestä kuumasta kaasusta (kuva 4). Sen avulla laite lämmittää loput lauhdelämmöllä esilämmitetystä käyttövedestä. Kylmäainekierron kuuma kaasu jatkaa edelleen lauhduttimeen, jossa loputkin lämpöenergiasta hyödynnetään tilojen lämmityksessä. Lämpöinvesivaraaja on jaettu kahteen osaan, jonka alaosaan syötetään lauhdelämpöä ja yläosaan tulistuslämpöä. Käyttövesi lämpenee virratessaan varaajan läpi kulkevassa kierukassa. Tulistuslämmön vaikutuksesta virtaava vesi saavuttaa vaadittavan lämpötilan varaajan yläosassa juuri ennen siirtymistä käyttövesiverkostoon. Käyttöveden esilämmityksen lisäksi alaosan lauhdelämmöllä lämmitetään lämmönjakoverkoston vesi. [15]



Kuva 4. Tulistusvaihtimella varustetun maalämpöjärjestelmän toimintaperiaate.

Oikeanlainen mitoitus on avainroolissa maalämpöpumpun optimaalisen toiminnan kannalta. Alimitoitettu lämpöpumppu turvautuu tehojen puuttuessa jatkuvasti varajärjestelmän eli monesti suoran sähkön käyttöön, mikä heikentää hyötysuhdetta. Pahimmassa

tapauksessa lämpökaivo jäätyy syvyyteen nähden liian suuren ottotehon vuoksi. Ylimi-toitettu laite puolestaan kasvattaa investointikustannuksia ja käy liian lyhyitä jaksoja, jolloin tiheät käynnistymisjaksot rasittavat kompressoria ja lisäävät energiankulutusta. Kompressorin käynnistyttyä kestää aina useamman minuutin, että kylmäainekierron toiminta tasaantuu ja se saavuttaa hyvän hyötysuhteen. Oikein mitoitettu maalämpöpumppu käykin pitkiä jaksoja kerrallaan ja käy optimaalisella hyötysuhteella pidempään. Lämmönkeruuputkiston mitoitus hieman yli minimitarpeen on kuitenkin suositeltavaa, sillä se nostaa maalämpönesteen lämpötilaa, parantaa hyötysuhdetta ja ehkäisee lämpökaivon jäätymistä. [14; 15.]

3.2 Kaukolämpö

Melkein puolet Suomen asuin- ja palvelurakennuksista lämmitetään kaukolämmöllä. Sen hyötyjä ovat maltilliset investointikustannukset ja lähes 100-prosenttinen toimintavarmuus. Kaukolämpö tuotetaan pääasiassa energiataloudellisesti tehokkaissa yhteistuotantolaitoksissa, mutta myös erillisissä lämpölaitoksissa. Tuotannossa hyödynnetään myös jonkin verran teollisuuden ylijäämälämpöä ja kaatopaikkojen biokaasujen polttoa. Noin 75 prosenttia kaukolämmöstä tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa, joissa sähköenergian tuotannossa syntyvä hukkalämpö otetaan talteen ja hyödynnetään kaukolämpönä. Yhteistuotannolla saavutetaan erittäin hyvä hyötysuhde, kun samasta polttoainemäärästä saadaan hyödyksi enemmän. Tällä on positiivinen vaikutus myös päästöjen vähentämiseen. Maakaasu, kivihiili ja öljy ovat tuotannon yleisimmät polttoaineet, mutta uusiutuvien luonnonvarojen kuten puun ja turpeen käyttö on yleistynyt voimakkaasti. Fossiilisten polttoaineiden rooli on edelleen merkittävä, mutta tavoitteena on lisätä biopolttoaineiden käyttöä entisestään varsinkin erillisissä kaukolämpölaitoksissa. Tulevaisuutta varten on alettu kehittää myös uusia tuotantotapoja hyödyntämällä muun muassa lämpöpumppuja sekä aurinkoenergiaa. [16]

3.2.1 Toimintaperiaate ja edellytykset

Kaukolämpö tuodaan lämmönjakohuoneen asiakaslaitteille laajaa kaukolämpöverkoston hyödyntäen. Kaksiputkijärjestelmä tuo kuumaa 65–115-asteista lämmitysvettä rakennukseen ja kuljettaa jäähtyneen kaukolämpöveden takaisin voimalaitokselle uudelleenlämmitettäväksi. Asiakkaan lämmönjakokeskus liitetään lämmönmyyjän mittauskeskukseen, joka sisältää lämpömäärälaskimen, siihen kytketyt meno- ja paluupuolen

lämpöanturit sekä virtausanturit. Mittauskeskuksen pääsulkuventtiilien jälkeen hoito- ja huoltovastuu siirtyy asiakkaalle. Lämmönjakokeskuksen hankinnasta ja huollosta vastaa asiakas. Keskukseen tehtävänä on välittää kaukolämpöveden lämpöenergia kiinteistön lämmitys- ja käyttövesijärjestelmiin. Kaukolämpövesi ei täten suoraan kierrä rakennuksen järjestelmissä, vaan putkistot ovat erilliset. Lämmönjakokeskuksessa on omat lämmönsiirtimensä huonetilojen lämmitysverkostolle ja käyttövedelle. Siirtimiä voidaan lisätä lämmityskohteiden mukaan ja jokainen siirrin mitoitetaan tarvittavan lämmitystehon mukaisesti. Keskukset ovat tehdasvalmisteisia, toimintavarmoja kokonaisuuksia, jotka sisältävät valmiiksi asennetut säätölaitteet, kiertovesipumput, paisunta- ja varolaitteet, sulkuventtiilit ja lämpö- sekä painemittarit. [16]

Siirtimien ja säätölaitteiden tarkoituksenmukainen toiminta on tärkeää toimivuuden ja hyötysuhteen kannalta. Säätölaitteet säätävät kaukolämpöveden virtausta ja siten verkostojen lämpötiloja tarpeen mukaan. Lämpötilojen säädön ja tasaisuuden avulla varmistetaan, että verkostojen lämmitystehontarve ja energiankulutus pysyvät alhaisina. Kehittyvät säätölaitteet ovat monesti automatisoituja ja aikaohjattuja vastaten tarpeenmukaisuutta. [16]

Energiatehokkaamman rakentamisen myötä lämmitysenergian tarve tulee pienenevään entisestään ja jäähdytysenergian tarve puolestaan kasvaa. Vähentyneeseen lämmöntarpeeseen kaukolämpötoimittajat ovatkin jo vastanneet kevytkaukolämpöverkoston suunnittelulla. Siinä kiertävän veden lämpötila on alhaisempi, mikä mahdollistaa muoviset putkistot ja alentaa rakennuskustannuksia. Jäähdytykseen puolestaan on jo jonkin aikaa hyödynnetty kaukokylmää, jossa lämpöä siirretään päinvastaiseen suuntaan. Kaukojäähdytyksen suljetussa kaksiputkisessa verkossa jäähdytettyä vettä tuodaan asiakkaille tilojen ja prosessien jäähdyttämiseen ja lämmennyt vesi palaa takaisin laitokselle hyödynnettäväksi.

4 Case Attendo – yksiköiden energiankulutusvertailu

Insinööriyön yhtenä tutkimuksen aiheena oli tutkia maa- ja kaukolämpökohteiden lämmitysenergiankulutuksen eroja kahdessa samankaltaisessa palveluyksikössä. Vertailussa hyödynnettiin maalämpöpumpun toimintahistoriasta saatua kulutustietoa sekä kaukolämmön mittauslaitteiden rekisteröimiä kulutuslukemia. Molemmat järjestelmät ovat nykyaikaisia, jatkuvasti kehittyviä lämmitysmuotoja. Tarkoituksena oli selvittää

niiden välisiä kannattavuuseroja. Vertailukohteet valittiin perustuen niiden sijaintiin ja samankaltaisuuteen. Toteutuneita kulutustietoja hyödynnetään myös myöhemmin työssä tarkasteltaessa samaisten järjestelmien elinkaarikustannuksia ja kustannustehokkuutta.

4.1 Hoivakoti Villa Hätilä

4.1.1 Kohteen esittely



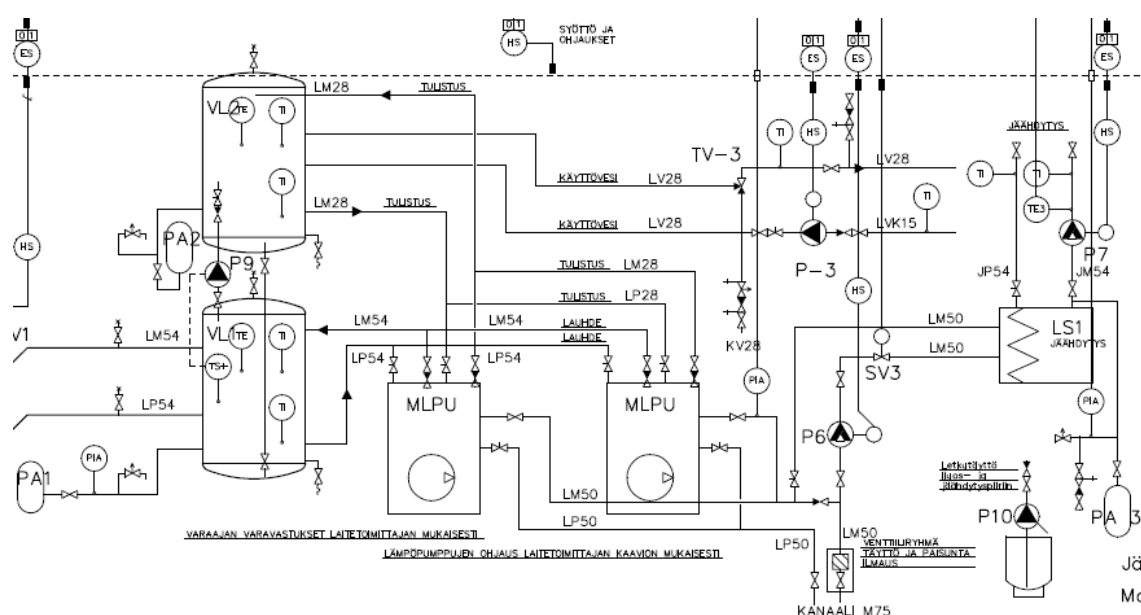
Kuva 5. Hoivakoti Villa Hätilä ja kohteen maalämpölaitteisto.

Attendon Villa Hätilä (kuva 5) on Hämeenlinnassa sijaitseva yksikerroksinen hoivakoti, joka tarjoaa asumispalveluja 15 vakitukselle asukkaalle. Hoitohenkilökunta koostuu noin kymmenestä hoitajasta, jotka työskentelevät vuoroissa ympäri vuorokauden. Kohteessa jokaisella on oman kylpyhuoneen käsittävä 20 m² kokoinen huone. Asukashuoneiden lisäksi kohteessa on yhteisiä tiloja ruokailua, askartelua ja oleskelua varten sekä henkilökunnan sosiaalityöt. Kohteen ruokailutilan yhteydessä sijaitsevassa keittiössä valmistetaan kaikki päivän ateriat. Lämmitettävään pinta-alaan kuuluu lisäksi pieni pyykinhuoltotila ja sen yhteydessä yleiset sauna- sekä pesutilat.

4.1.2 Kohteen lämmitysjärjestelmä

Kohde on valmistunut vuonna 2013 ja edustaa taloteknisiltä järjestelmiltään hyvin nykyaikaista mallia. Kohteeseen valittu Gebwell-maalämpöjärjestelmä (kuva 5) kerää lämmön tontille poratuista kahdeksasta 186 metriä syvästä energiakaivosta. Kohteen varsinainen lämmöntuotantoyksikkö muodostuu kahdesta 30 kilowatin tehoisesta maa-

lämpöpumpusta, jotka on varustettu tulistusvaihtimella. Pumppujen rinnalle on kytketty kaksi tilavuuksiltaan 500- ja 1000-litraista lämminvesivaraajaa. Tilojen ja käyttöveden esilämmitykseen tarkoitettu isompi 1 000 litran varaaja lämpenee lauhdelämmöllä. Vesi ohjataan varaajasta ilmanvaihdon ja lattialämmityksen verkostoihin. Lisäksi ison varaajan kautta ladataan pienempää 500 litran käyttövesivaraajaa. Lauhdelämmöllä esilämmitetyn käyttöveden korkea tavoitelämpötila tuotetaan ajamalla käyttövesivaraajaan kompressorin tuottamaa tulistustilaa. Molemmat lämminvesivaraajat on lisäksi varustettu sähkövastuksilla, joiden tarkoitus on tarvittaessa kattaa osa lämmityksen huipputehontarpeesta, mutta niitä ei rakennuttajan mukaan ole koskaan otettu käyttöön. Rakennuksen lämmönjakojärjestelmänä toimii vesikiertoinen lattialämmitys. (Kuva 6.)



Kuva 6. Villa Hätilän maalämpöjärjestelmän kytkentäkaavio.

Kesäaikainen jäähdytys on toteutettu myös maalämpöjärjestelmän kautta; maakyilmässä kallioperän viileyttä hyödynnetään kierrättämällä keruuliuosta erillisen lämmönsiirtimen kautta. Siirtimen jäähdyttämä vesi kiertää sisätilojen puhallinkonvektoreissa, joissa on puhallin ja lämmönsiirrin. Puhallin kierrättää huoneilmaa lämmönsiirtimen kautta, jolloin lämpö siirtyy kiertävään nesteeseen ja viilentynyt ilma puhalletaan takaisin huonetilaan. Konvektorissa lämmennyt vesi palaa siirtimelle luovuttaen lämpöä keruunesteeseen ja edelleen maaperään. Maaviileää kutsutaan myös ilmaiskylmäksi, sillä maaperän hyödynnettävä viileys on lämpöenergian tapaan ”ilmaista”. Tämän lisäksi ratkaisunkäyttökustannukset ovat kuluttajaystävällisellä tasolla. Sähköä tarvitaan ainoastaan puhaltimen ja kiertovesipumpun toimintaan, jolloin kustannukset jäävät vähäisiksi verrattuna erillisiin jäähdytysenergiaa tuottaviin kompressorilaitteisiin.

Palvelukodin johtajan mukaan järjestelmä on kokonaisuudessaan ollut käyttäjien näkökulmasta toimiva, ja lämpötila on ollut tasainen. Talotekniikkaan liittyvää huomautettavaa ei ole ollut.

Järjestelmän teho ja lämpökaivojen määrä olivat kohteessa poikkeuksellisen suuret. Tämän vuoksi selvitettiin mitoituslaskelman kulutusperusteena käytettyjä arvoja. Laskelma osoitti, että mitoituslukemat perustuivat toteutuneeseen kulutukseen, vaikka kyseessä oli uudiskohde. Suurehkolle lämmitysenergiantarpeelle ei löytynyt asiakirjoista perustetta. Mitoituslaskelma antoi toteutuneeksi vuosittaiseksi lämpöenergiamääräksi 210 000 kilowattituntia, mikä tarkoittaisi noin 260 kWh:n kulutusta jokaista lämmitettävää neliötä kohden vuodessa. Mitoituslaskelman mukaan laitteisto oli myös osatehmitoitettu kattamaan 87 %:n osuus huipputehontarpeesta, jolloin maalämmöllä tuotetun energian osuus oli 99 %. Lisäsähköllä katettaisiin jäljelle jäävä huipputehontarve 2 500 kWh kovilla pakkasilla. Lisäsähköntarvetta ei kuitenkaan ole ollut. Keskustelussa rakennuttajan kanssa tuli esille myös heidän näkemyksensä siitä, että laitteisto oli ylimitoitettu kyseiseen kohteeseen eikä varavastuksia ollut koskaan ohjelmoitu käytettäväksi.

4.1.3 Lämmitysenergian kulutus

Maalämmön toimintaa ja energiankulutusta selvitettiin maalämpöpumpuista saatavista lokitiedoista. Vierailukäynnillä kohteessa tutustuttiin, laitevalmistajan tuella, käyttöpaneelin asiantuntijavalikkoon. Valikosta oli etsittävässä kompressorin käyttötunnit ja käynnistymiskerrat. Kummankin laitteen käyntiaikaa ja käynnistymiskertoja vertailemalla selvisi, että laitteiden kompressorit eivät käyneet tasapainossa. Jakamalla käyttöaika käynnistyskerroilla pääpumpun (master) keskimääräinen käyntiaika oli noin 12 minuuttia käynnistyskertaa kohden. Vastaava luku toiselle lämpöpumpulle (slave) oli 54 minuuttia. Myöhemmässä puhelinkeskustelussa laitetoimittaja vahvisti, että laitteiden kuului käydä tasaisesti eikä näin suurta epätasapainoa tulisi olla. Tiedot lähetettiin toimittajalle arvioitavaksi. Toimittaja suositteli järjestelmän tarkistusta ja kalibrointia.

Sähköpääkeskukseen oli asennettu oma energiamittari maalämmölle, mutta lukemaa ja järjestelmän sähkönkulutusta ei huoltomiehen mukaan koskaan oltu seurattu huoltoyhtiön toimesta. Sähköurakoitsija ja maalämpölaitteiston toimittaja eivät olleet koskaan resetoineet mittaria, joten kulutuslukeman 72 167,47 kWh todettiin kattavan järjestelmän koko tähänastisen kulutuksen yli kahden vuoden ajalta. Oli oleellista selvittää

myös mittarin takana olevat komponentit. Rakennuttajan sekä sähköurakoitsijan mukaan mittarin takana oli ainoastaan maalämmön kompressorit sekä mahdollisesti laitteiston apupumput. Sähkövastusten kulutusta ei ollut tarpeen arvioida, sillä keskustelussa rakennuttajan talotekniikkapäällikön kanssa osoittautui, että lisävastukset eivät olleet koskaan olleet käytössä. Myös laitetoimittaja arveli, ettei vastuksia ollut missään vaiheessa otettu käyttöön. Näin ollen voitiin päätellä, että energiamittarin lukema osoitti vain maalämpöpumppujen kompressorien sähkönkulutusta. Myös osa järjestelmän kiertovesipumpuista oli luultavasti saman mittaroinnin takana. Niiden osuus kulutuksesta on kuitenkin vähäinen, joten lukemaa käytettiin sellaisenaan kulutusvertailussa.

4.2 Hoivakoti Tuulentupa

4.2.1 Kohteen esittely



Kuva 7. Hoivakoti Tuulentupa ja kohteen kaukolämpökeskus

Maalämpökohteen kanssa vertailuun valittiin vuonna 2011 valmistunut Attendo Tuulentuvan hoivakoti (kuva 7) Huittisissa, jonka lämmönlähteenä toimii kaukolämpö. Kohde koettiin sopivaksi vertailukohteeksi Villa Hätilän rinnalle, sillä se on pienestä 84 m²:n kokoerosta huolimatta arkkitehtuurisesti, pohjaratkaisultaan ja toiminnaltaan hyvin samanlainen. Kohteessa asuu vakituisesti 17 henkilöä, mutta lisäksi kaksi paikkaa on varattu usein vaihtuville intervalliasukkaille, joille mahdollistetaan noin 1–2 viikon mittainen väliaikainen hoitojakso tarpeen mukaan. Hoivakodissa on yhteensä 17 asukashuonetta, joista kaksi on jaettu kahden hengen huoneita. Huoneet ovat hieman pienempiä kuin Hämeenlinnan vertailukohteessa, noin 15 m². Ruokailutilan välittömässä yhteydessä on laaja oleskelutila. Kuten Hämeenlinnan kohteessa, rakennuksessa on yksi ns. pääkeittiö ruokailutilan yhteydessä. Mainittava ero vertailukohteeseen on,

että pääruuat tuodaan kaupungin toimesta ja paikan päällä valmistetaan ainoastaan aamupala ja välipalat. Pyykinhuolto toimii saunatilojen yhteydessä.

4.2.2 Kohteen lämmitysjärjestelmä

Kohteen kaukolämpökeskus on mallia Högfors GST-3. Paketti käsittää käyttöveden (140 kW), ilmanvaihdon lämmityksen (60 kW) ja lattialämmityksen (80 kW) lämmönsiirtimekierrovesipumppuineen ja säätölaitteineen. Keskus on kytketty vesikiertoiseen lattialämmitykseen, joka kattaa kaikki lämmitettävät tilat. Kohteen jäähdytys puolestaan on toteutettu kahdella Argo-ilmalämpöpumpulla, joiden kummankin maksimijäähdytysteho on 6,5 kW. Sisä- ja ulkoyksiköt on sijoitettu L-mallisen rakennuksen kummankin pitkän sivun päähän.

4.2.3 Lämmitysenergian kulutus

Kaukolämmön kulutuslukemat perustuvat huoltoyhtiön kuukausittain seuraamiin lukemiin. Kulutuslukemat syötetään huoltoyhtiön toimesta sähköiseen järjestelmään, jolloin ne ovat myös Attendo Oy:n käytettävissä. Kuvassa 8 on esitetty Tuulentuvan kaukolämmön ja kylmän veden kulutuslukemat vuodelta 2014.

Kuukausi	Normeerattu kaukolämpö (MWh)		Vesi (m³)
	2014	2015	2014
1	10,32	8,49	69,13
2	7,85	7,29	65,97
3	7,39	7,19	71,91
4	5,14	4,95	66,93
5	3,41	3,64	66,71
6	1,93	2,57	58,18
7	2,61	2,67	64,94
8	2,53	2,63	61,00
9	4,32	5,30	64,90
10	4,88	5,34	58,71
11	6,01	-	54,58
12	9,24	-	68,07
YHT.	65,63	50,05	771,04
	26,44 kWh/Rm²/v	24,20 kWh/Rm²/v	25,89 l/Rm²/v
	88,57 kWh/brm²/v	81,06 kWh/brm²/v	86,71 l/brm²/v

Kuva 8. Attendo Tuulentuvan kaukolämmön ja kylmän veden kulutuksen seuranta

4.3 Energiankulutusten normeeraus

Keskimääräiset ulkolämpötilat vaihtelevat vuosittain, mikä vaikuttaa lämmityksen energiankulutukseen. Normeerauksen avulla suhteutetaan rakennuksen kulutus vuosikymmenien vertailujaksolle paikkakuntaakohtaisten lämmitystarvelukujen avulla. Lämmitystarvelukujen käyttö perustuu lämmitysenergian tarpeen riippuvuuteen ulko- ja sisälämpötilan erotuksesta. Luku saadaan laskemalla ulko- ja sisälämpötilan välinen erotus päiväkohtaisesti. Sisälämpötilan teoreettisena oletusarvona käytetään +17 °C:ta, jossa on huomioitu lämmitysenergian tarvetta pienentävät rakennuksen sisäiset lämpökuormat. Ulkolämpötila puolestaan määräytyy vuorokausikeskiarvon mukaan. Laskennassa ei huomioida päiviä, joiden keskilämpötila ylittää keväällä +10 °C ja syksyllä +12 °C, jolloin lämmityksen oletetaan olevan pois päältä.[17]

Laskemalla päivittäiset lämmitystarveluvut yhteen, voidaan tarkastella lukuja kuukausi- ja vuositasolla. Mitä suurempi vuoden lämmitystarveluku on, sitä kylmempi vuosi on ollut kyseessä. Ilmastollisena vertailukautena (normaalivuotena) käytetään vuosien 1981–2010 keskimääräisiä lämmitystarvelukuja. Nämä ovat määritetty 16 vertailupaikkakunnalle ja lisäksi jokaiselle kunnalle on määritetty oma korjauskerroin Jyväskylän vertailupisteeseen. [17; 18.]

Jotta kahden eri puolella Suomea sijaitsevan rakennuksen lämmitysenergian kulutuksia voidaan vertailla keskenään, täytyy kohteiden kulutuslukemat muuttaa vastaamaan normaalivuoden kulutusta ja normeerata ne samalle Jyväskylän vertailupaikkakunnalle (kaava 1).

$$Q_{norm} = k_2 * \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{LKV} \quad (1)$$

k_2 on paikkakuntaakohtainen korjauskerroin Jyväskylään

$S_{N\ vpk}$ on normaalivuoden/-kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut\ vpk}$ on toteutunut lämmitystarveluku vuositasolla vertailupaikkakunnalla

$Q_{toteutunut}$ on rakennuksen tilojen lämmittämiseen kulunut energia

Q_{LKV} on käyttöveden lämmittämiseen kulunut energia

Ennen kulutuksen normeerausta on erotettava käyttöveden osuus (Q_{LKV}) kokonaislämmitysenergiasta, sillä se ei riipu ulkolämpötilasta vaan pysyy tasaisena ympäri vuoden. Pelkästään tilojen lämmitykseen kulutettu energia on laskettu seuraavasti:

$$Q_{toteutunut} = Q_{kok} - (58 * V_{LKV}) \quad (2)$$

Q_{kok} on rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus

58 on veden lämmittämiseen (50 °C) tarvittava energiamäärä (kWh/m³)

V_{LKV} on rakennuksen kokonaisvedenkulutus

Kummassakaan vertailukohteessa ei ollut erillistä mittausta lämpimän käyttöveden energiankulutukselle. Sen osuus on siksi arvioitu yleisen asuinrakennusten lämpimän veden kulutuksen perusteella, joka on noin 40 % kokonaisvedenkulutuksesta ($0,4 * V_{LKV}$). [17]

4.4 Vertailu ja johtopäätökset

Kuvassa 9 on esitetty kummankin vertailukohteen normitetut energiankulutuslukemat, joissa on huomioitu lämpimän käyttöveden energiankulutuksen osuus. Mainittakoon, että kohteiden päävesimittarin lukemien perusteella eroa kulutuksessa oli neljä kuutiota; Villä Hätilän kulutus vuonna 2014 oli 775 m³ ja Tuulentuvan 771 m³.

Villa Hätilän maalämpöjärjestelmän tuottamalle lämmitysenergialle ei ollut olemassa erillistä mittausta, joten lämmöntuotanto oli arvioitava laskennallisesti. Hyötysuhdetta kuvaava SFP-luku määritettiin teoreettisin arvoin pohjautuen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 ohjearvoihin. Mitattu sähkönkulutus kerrottiin SFP-luvulla, jolloin saatiin laskennallinen arvo järjestelmän tuottamalle lämmitysenergialle. Kun lukema suhteutettiin vuoden 2014 lämmitystarvelukuihin, osoitti laskelma samaisen vuoden lämmitysenergian määräksi 101 171 kWh. Lukema on melko hyvin linjassa verrattaessa sitä energialaskelman 112 767 kilowattitunnin vuosittaiseen tilojen ja käyttöveden vaatimaan lämmitysenergian tarpeeseen.

HOIVAKOTI VILLA HÄITILÄ, HÄMEENLINNA

Huoneistoala	795	m ²
Tilavuus	3127	m ³
Laskennallinen SFP	2,948	
Sähkönkulutus 29.5.2013-3.12.2015	72167,47	kWh
Lämmöntuotanto 29.5.2013-3.12.2015	212749,70	kWh
Lämmitystarvelukusuhte	0,48	vuoden 2014 kulutusosuus koko käyttöajalta
2014 laskennallinen lämmöntuotanto	101171,0	kWh/a
2014 suhteutettu sähkönkulutus	34318,5	kWh/a
Qlqv = 58 kWh/m3 x (0,4 x 775 m3/a) =	17980,00	kWh/a
	17,98	MWh/a

Lämmitystarveluku 2014		Toteutunut lämmitysenergia	Normeerattu	Korjauskerroin K2
Hämeenlinna	Vertailukausi, Lahti	(MWh)	lämmitysenergia (MWh)	(Jyväskylä)
4073	4392	83,19	116,66	1,1

LÄMMITYSENERGIA	=	146,7	kWh/m2/a	37,3	kWh/m3/a
SÄHKÖENERGIAN HINTA	=	3798,85 €/a	(Vuosikulutus 34 318,5 kWh/a, hinta sähkösopimuksen mukaisesti)		

HOIVAKOTI TUULENTUPA, HUIITTINEN

Huoneistoala	741 m2
Tilavuus	2482 m3

Lukemat valmiiksi normeerattuja sähköisessä raportissa (lämpimän käyttöveden osuus valmiiksi huomioitu).

Lämmitystarveluku 2014		Toteutunut lämmitysenergia	Normeerattu	Korjauskerroin K2
Tampere	Vertailukausi, Tampere	(MWh)	lämmitysenergia (MWh)	(Jyväskylä)
4046	4424	-	65,63	1,12

LÄMMITYSENERGIA	=	88,6	kWh/m2/a	26,4	kWh/m3/a
KAUKOLÄMPÖENERGIAN HINTA	=	5354,55 €/a	(Vuosikulutus 65 630 kWh/a, hinta energiasopimuksen mukaisesti)		

Kuva 9. Hoivakotien normitetut lämmitysenergiankulutukset vuodelta 2014.

Tulokset osoittavat merkittävää eroa kaukolämmön eduksi. On huomioitava, että maalämmön vuoden 2014 kulutusluku on lämmityslukuihin perustuva laskennallinen arvio tarkemman tiedon puuttuessa. Kohteiden samankaltaisuudesta huolimatta, Villa Hätilä on lisäksi huoneistoalaltaan yli 80 m² ja tilavuudeltaan yli 600 m³ suurempi, mikä vuoksi lopullista kulutusta tarkasteltiin pinta-ala- ja tilavuusperusteisena. Lämmitysenergiatarpeiden poikkeamista huolimatta vuosittaiset kustannukset ovat noin 30 % edullisemmat Villa Hätilän maalämmön tapauksessa.

5 Elinkaarikustannuslaskenta

Energiatavaraan ympäristön tavoittelu on lisännyt rakentamiseen liittyvää pitkän aikavälin elinkaaritarkastelua, joka koostuu monesta osa-alueesta. Tarkastelussa voivat olla ekonomiset ja ekologiset tekijät, tai se voi keskittyä turvallisuuteen, viihtyvyyteen

sekä rakennuskulttuuriin. Kustannuslaskenta on vain yksi osa-alue, mutta erittäin merkittävä ja käytännönläheinen päätöksiä ohjaava näkökulma. Elinkaarikustannuksista käytetään myös lyhennettä LCC (Life Cycle Cost). Sillä tarkoitetaan koko elinkaaren aikaisten kokonaiskustannusten nykyarvojen summaa. Laskelmissa tarkastellaan järjestelmien koko elinkaarta aina hankinnasta sen purkuun saakka. Monesti laskelmat suoritetaan kahden vertailtavan järjestelmän välillä edullisemman ratkaisun löytämiseksi. Talotekniikkaa koskevat valinnat tulevat olemaan tulevaisuudessakin hyvin moniulotteiset. Energiamääräysten määrittelemien E-lukujen raja-arvojen noudattaminen on mahdollista vähemmänkin ekologisilla ratkaisuilla, ja vaatimusten tiukentuessa järjestelmät kehittyvät ja monipuolistuvat. Valintojen taustalla eivät vaikuta ainoastaan lait vaan myös ekologisemmat ajattelumallit ja tahtotila energian kustannustehokkaampaan käyttöön. Ratkaisuihin vaikuttavat voimakkaasti myös organisaation palvelu- ja kiinteistöstrategia sekä tiloihin suunnitellun palvelutoiminnan luonne ja erityistarpeet. [19]

Vertailua varten on luotu jo useampia laskentaohjelmia niin suunnittelijoiden kuin tilaajankin hyödynnettäväksi. Järjestelmän koko elinkaaren huomioivia laskelmia hyödynnetään erityisesti kiinteistöliiketoiminnan päätöksenteossa. Laskelmilla voidaan pelkän laitteen, taloteknisen järjestelmän tai vaikka koko rakennuksen kattavien investointien kannattavuutta. Kustannuslaskenta on myös hyvin konkreettinen työkalu tarjousten vertailussa. Tavoitteena on ennen kaikkea optimoida kustannuksia siten, että ne vastaavat haluttua laadullista, taloudellista ja ekologista vaatimustasoa.[19]

LCC-laskennalle on ominaista, että se huomioi tulevaisuudessa syntyvät kustannukset. Kulut diskontataan nykyhetkeen, jolloin eri järjestelmien erisuuruiset kustannukset saadaan vertailukelpoisiksi. Talotekniikan näkökulmasta elinkaarikustannusten tarkastelu on mielenkiintoista, sillä sekä investointihetken että käyttöajan kustannukset järjestelmien välillä voivat vaihdella suuresti. Investoinniltaan halpa järjestelmä saattaa vaatia paljon huoltoa ja erilaisia maksullisia ylläpitotoimenpiteitä toimiakseen asianmukaisesti. Kalliimmin toteutettu järjestelmä taas voi olla pitkäikäisempi, lähes huoltovapaa ja tarjota uusiutuvan energian kautta jopa tuottomahdollisuuksia pidemmällä aikavälillä. Halvin hankintahinta ei siis takaa pienempiä elinkaarikustannuksia. [19]

Kustannuslaskelmiinkin liittyy aina epävarmuustekijöitä. Suunnitteluvaiheessa joudutaan laskennallisesti arvioimaan energiankulutusta ja järjestelmien käyttöiät ovat yhtälailla arvioita. Merkittävä vaikuttaja laskelmien kannalta on energian hinta, jonka kehitystä on vaikea ennustaa. Tuottokoron ja energiahintojen kehityksen mahdollisuuksiin

ja tilanneskenaarioihin pureudutaankin usein tarkemmin niin kutsutuissa herkkyystartasteluissa, jotka auttavat hahmottamaan yhden muuttujan vaikutusta kokonaisuuteen. Herkkyystartastelussa laskelmien luotettavuutta voidaan arvioida, kun huomioidaan esimerkiksi lähtöarvon pienin mahdollinen, todennäköisin ja suurin mahdollinen lähtöarvo. [19; 20.]

5.1 Elinkaarikustannuksiin vaikuttavat tekijät

Tarkastelujakso

Laskennan alussa on määritettävä tarkasteltavan aikajakson pituus. Se voi olla järjestelmän tai yksittäisen komponentin arvioitu käyttöikä tai kiinteistön käyttäjän vuokrasopimuksen määrittelemä ajanjakso. Tarkasteluaika voi siis olla pidempi kuin järjestelmän käyttöikä, jolloin on luonnollisesti huomioitava järjestelmän uusimiskustannukset. Lämmitysjärjestelmiä tarkasteltaessa on luonnollista käyttää lämmöntuotantoyksikön arvioitua taloudellista käyttöikää. Onkin tärkeää erotella taloudellinen käyttöikä ja laitteiston tekninen käyttöaika. Teknisesti laitteet voidaan suunnitella hyvinkin pitkäikäisiksi, mutta käyttötarkoitusten ja asiakastarpeiden muuttuminen vaikuttaa olennaisesti järjestelmän kestävyYTEEN. Määrätyn ajan jälkeen laitteiston uusiminen on taloudellisesti kannattavampaa kuin epätaloudellisesti toimivan, vanhan laitteen kunnossapito. [21, s. 129.]

Laskentakorko

Elinkaarikustannustarkasteluissa laskentakorolla tarkoitetaan käytössä olevan rahan hintaa eli lainan korkoa. Investointilaskelmissa se puolestaan tarkoittaa hankinnalle toivotun tuoton korkoa. Korko on tyypillisesti 3–10 prosenttia. Koron avulla arvioidaan rahan arvon muutosta tulevaisuudessa ja voidaan vertailla eri vuosina suoritettavien toimenpiteiden kustannuksia diskonttaamalla arvo nykyhetkeen. [20]

Investointikustannukset

Ennen kuin laajempien elinkaarikustannusten ja -arvioiden rooli yleistyi, hankintahinnan merkitys oli nykyistäkin merkittävämpää. Vaikka taloteknisten järjestelmien investointikustannus on yhä merkittävä valintoja ohjaava tekijä, ei se enää muodostu ainoaksi

kriteeriksi järjestelmiä valittaessa. Sen merkitys ainoana ratkaisevana tekijänä on pienentynyt, ja useiden laskelmien avulla on voitu osoittaa, että joissain tapauksissa hankintakustannuksiltaan arvokkaampi vaihtoehto on käyttäjälle lopulta edullisempi, kun tarkastellaan koko elinkaaren käsittäviä kustannuksia. [19]

Hankintahinnaksi määritellään arvo, joka laitteella tai järjestelmällä on sen käytön alkamishetkellä. Arvoon sisältyy laitteen arvo materiaaleineen sekä sen asennus- ja kuljetuskustannukset. Investointikuluihin lasketaan mukaan myös välilliset kustannukset kuten rahoitukseen liittyvät kulut. Järjestelmien investointiin liittyviin eroavaisuuksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Mikäli toinen järjestelmä esimerkiksi vaatii rakennusvaiheessa tekniikaltaan isomman tilaratkaisun, on tällaiset rakennustekniset kulut laskettava mukaan järjestelmän investointikustannuksiin. [22, s. 58]

Lähtökohtaisesti kalliimpikin investointi maksaa itsensä takaisin nopeasti, jos kohteen energiankulutus on suurta, mutta käyttökustannukset ovat edulliset. Investoinnissa on muistettava vertailla myös onko ratkaisujen välillä palvelukyvyyn ja laadun kannalta merkittäviä eroja. Viime kädessä kannattavuuteen vaikuttaa eniten tilojen käytön ominaisuudet ja asetettu laatutaso. [19]

Käyttökustannukset

Käyttökustannukset koostuvat käytön energiamaksuista, huolto- ja kunnossapitokuluista, korjauskustannuksista ja mahdollisista vakuutusmaksuista. Energiakustannukset käsittävät järjestelmän tai laitteen käytöstä aiheutuvat kulut. Laskennassa huomioidaan sekä lämmitys- että sähköenergian kustannukset ja arvioidaan hintojen kehitys koko tarkasteluajalle. [20]

Hoito ja huoltokustannukset ovat kuluja, joita syntyy suhteellisen tasaisesti pitkin laskentajaksoa mm. tarkastusten ja huoltotoimenpiteiden muodossa. Korjaus- ja kunnossapitokustannukset ovat yleensä laskentajakson aikana suoritettavia suurempia, usein kertaluontoisia kustannuksia. [22]

Jäännösarvo

Jäännösarvoksi kutsutaan tarkasteltavan kohteen arvoa tarkastelujakson päätyttyä. Taloteknisten järjestelmien kohdalla tämä tarkoittaa käytöstä poistamiseen liittyviä kulu-

ja kuten purku- tai hävitysmaksuja sekä toisaalta jälleenmyytävästä laitteesta tai sen osista saatavia myyntituottoja. Nykyarvo riippuukin siitä kattavatko tuotot kaikki jäänösarvoon vaikuttavat menot. [22, s. 60.]

5.2 Elinkaarikustannusten laskentamallit

5.2.1 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika on suosittu laskentamalli, jota hyödynnetään paljon. Se ilmaisee vuosina sen ajan, jonka kuluessa investointikustannus on katettu saavutetuilla tuotoilla tai menojen säästöillä. Korollinen takaisinmaksuaika voidaan laskea kaavalla 3.

$$n = \frac{\ln\left(\frac{T}{T-Hi}\right)}{\ln(1+i)} \quad (3)$$

n on korollinen takaisinmaksuaika, a

T on vuotuisten kustannusten erotus, eur

H on hankintahintojen erotus, eur

i on reaalikorkokanta, %/100

Takaisinmaksuaika on helppo laskentamalli, mutta se jättää huomioimatta järjestelmän pitoajan eikä myöskään laske takaisinmaksuajan jälkeen saavutettavia tuottoja tai säästöjä. Maksusuoritukset tapahtuvat myös eri aikoihin, jolloin niihin liittyvät korkovai-
kutukset tulisi myös huomioida. [20]

5.2.2 Nykyarvomenetelmä

LCC-laskelmissa käytetään yleisesti nykyarvomenetelmää, jossa tulevaisuuden eri aikoina syntyvät kustannukset diskontataan nykyhetkeen. Tällöin vertailtavien kohteiden erisuuruiset kustannukset ovat vertailukelpoisia.

Jos vuotuinen kulutus pysyy vuosittain samana, voidaan energiakustannusten laskennassa käyttää jaksollisten suoritusten nykyarvokaavaa.

$$\text{Energiakustannuksen nykyarvo} = Q * q * \frac{1}{(i-p)} * \frac{[1+(i-p)]^n - 1}{[1+(i-p)]^n} \quad (4)$$

Q on vuotuinen energiankulutus, MWh/a

q on nykyinen energian hinta, eur/MWh

i on reaalikorkokanta, % /100

p on odotettu energian hinnan nousu, % /100

n on laskentajakson pituus vuosina, a

[20; 22, s. 58]

Huoltokustannusten ollessa vuosittain samat, voidaan nykyarvo laskea kaavalla 4. Mikäli kustannukset tai huoltoväli vaihtelevat, on eri ajankohtina syntyneet kustannukset diskontattava nykyhetkeen.

$$\text{Huoltokustannuksen nykyarvo} = H * \sum_m \frac{1}{[1+i]^m} \quad (5)$$

H on huoltokustannus, EUR

m on huoltoväli vuosina, a

i on reaalikorko, % /100 [22, s. 59]

6 Laskelmat ja vertailu

6.1 Lähtötiedot

Tarkasteltavat kohteet eivät olleet täysin samanlaiset, ja kiinteistöjen lämmitysenergiatarpeissa oli myös eroja. Tästä johtuen laskenta suoritettiin kullekin kohteelle erikseen ja sekä Villa Hätilän että Tuulentuvan kohdetta tarkasteltiin kumpaakin omana laskentatapauksenaan. Lämmitysjärjestelmän kustannuksia vertailtiin täten kohdekohtaisesti kyseisen rakennuksen lämmitysenergiatarve huomioon.

Hoivakotien LCC-laskenta on toteutettu nykyarvomenetelmällä. Laskelmissa on hyödynnetty kohteissa toimineen LVI-urakoitsijan luovuttamia tietoja investointikustannuksista sekä toimeksiantajan tietoja hoito- ja huoltokustannuksista. Laskelmissa oleellista on kohteiden eroavaisuuksista muodostuvat kustannukset. Näin ollen laskelmissa ei ole mukana lämmönjakotavan rakentamiskustannuksia (vesikiertoinen lattialämmitys), lämmönjakohuoneiden rakentamiskustannuksia eikä kiinteistöhuollon vuosikustannusta, jotka on kohteissa oletettu yhtä suuriksi.

Tarkastelujaksoksi valittiin 25 vuotta, joka on lämmöntuotantolaitteiden oletettu teknis-taloudellinen käyttöikä. Viimeistään tämän ajanjakson jälkeen talotekniset järjestelmät uusitaan tai vähintäänkin peruskorjataan. [23] Kaukolämpö- ja sähköenergian hinnat ovat yrityksen voimassa olevien energiasopimusten mukaiset. Laskentakorkona on

käytetty 4 %:n reaalikorkoa, joka on arvio investointiin tarvittavan lainan korkokannasta. Maalämmön tapauksessa laskelmissa on huomioitu Asumisen rahoitus- ja kehittämisskeskuksen energiatuki järjestelmän hankinnalle. Koska vuoden 2013 tuen määristä ei ollut tarkkaa tietoa saatavilla, laskelmissa on käytetty 20 prosentin olettaa. [24] Tukeen oikeuttavana investointina on pidetty maalämpölaitteistosta, maaviilennysjärjestelmästä ja energiakentästä koostuvaa kustannusta. Järjestelmän vaatiman sähköistyksen lisäkustannukset kaukolämpöön verrattuna on jätetty tuen ulkopuolelle.

Käyttöajan kustannuksiin vaikuttaa oleellisesti energiahintojen kehitys. Pöyryn tutkimuksessa "Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä tulevaisuudessa" arvioitiin, että kaukolämmön hinta tulisi nousemaan peräti 20 % vuoteen 2020 mennessä. [25] Tähän pohjautuen laskelmissa on oletettu hinnan nousevan keskimäärin 2 % vuodessa. Samaa hintakehitystä käytettiin myös sähköenergian tapauksessa.

Kiinteistöpidon huoltokustannuksia puolestaan ei ole vertailussa, sillä kohteiden identtisyys ja molempien järjestelmien helppohoitoisuus antaa olettaa vuosittaisen kustannuksen samaksi. Ainoaksi eroksi muodostuu maalämmön vuosittainen kiinteistöhuoltosopimuksen ulkopuolinen kylmäainetarkastus (1 krt/a), jonka suuruudeksi on arvioitu 200 euroa. Suhteellisen pienelle kustannukselle ei ole laskettu korkoa, vaan sen on oletettu pysyvän samana koko käyttöiän ajan.

Sähköenergiaa käyttävien jäähdytyslaitteiden osuus sähköenergiankulutuksessa on huomioitu laitetietojen mukaisen ottotehon mukaan. Koska vertailukohteissa ei ollut erillistä kulutusseurantaa jäähdytykselle, on laskelmissa oletettu, että laitteet ovat jatkuvasti päällä täysteholla kesä- ja elokuun välisen ajan eli noin 90 päivää. Taulukossa 1 on eritelty laskennan pohjana käytetyt järjestelmäkohtaiset lähtötiedot.

Taulukko 1. Elinkaarikustannuslaskennan järjestelmäkohtaiset kustannustiedot.

Laskennan lähtötiedot			
Energiankulutus	Maalämpö	Tuulentupa	Yksikkö
Lämmitys	34320	65630	kWh
Viilennys	1382	10800	kWh
	35702	76430	kWh
Hankintakustannukset	Maalämpö	Kaukolämpö	Yksikkö
Järjestelmän hankinta	92000	27890	€
Sähköliittymä ja -keskus	9495	2400	€
Energiatuki	18400	-	€
	83095	30290	€

6.2 Villa Hätilän tulokset 25 vuoden tarkastelujaksolla

Taulukossa 2 on esitetty Villa Hätilän laskennan tulokset: investointikustannukset, käyttöajan kustannusten nykyarvot ja niiden summa.

Taulukko 2. Maalämmön elinkaarikustannusten nykyarvo 25 vuoden ajanjaksolla.

Tulokset 25 vuoden käyttöajalle – maalämpö	
Investointi	83 095,00 €
Käyttöajan kokonaiskustannusten nykyarvo	73 492,32 €
Sähköenergian osuus	70 367,90 €
Huollon osuus	3 124,42 €
Yhteensä	156 587,32 €

Seuraavana esitetyssä taulukossa 3 on listattu vastaavasti kustannustekijät kyseiseltä tarkastelujaksolta, mikäli samaiseen kohteeseen olisi valittu kaukolämpöjärjestelmä.

Taulukko 3. Kaukolämmön elinkaarikustannusten nykyarvo 25 vuoden ajanjaksolla.

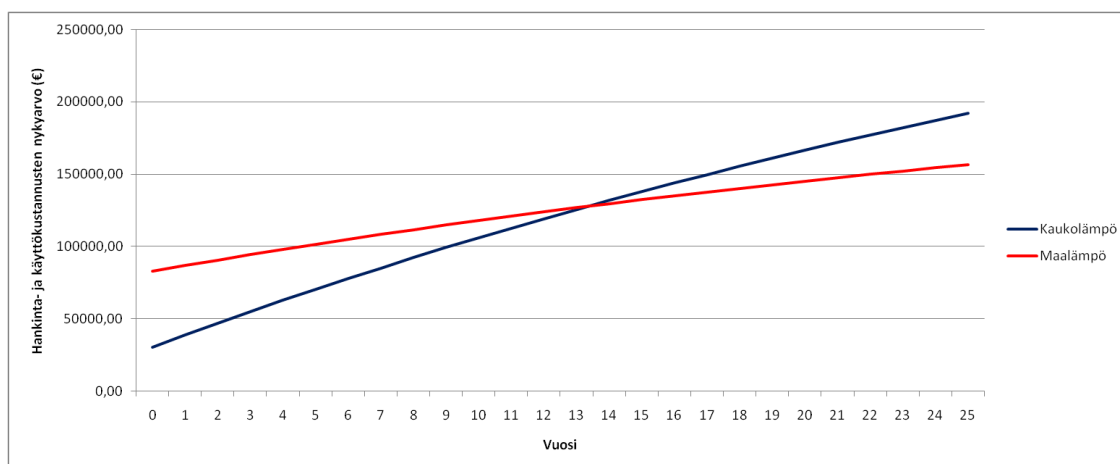
Tulokset 25 vuoden käyttöajalle - kaukolämpö	
Investointi	30 290,00 €
Käyttöajan kustannukset	161 606,40 €
Kaukolämpöenergian osuus	141 211,68 €
Sähköenergian osuus	20 394,72 €
Yhteensä	191 896,40 €

Villa Hätilän tulokset osoittavat, että maalämpö on käyttökustannuksiltaan selkeästi kaukolämpöä edullisempi vaihtoehto. Taulukko 4 sisältää tarkemman lopputulosten vertailun.

Taulukko 4. Järjestelmien elinkaarikustannusten nykyarvovertilu 25 vuoden ajalta.

Vertailu	
Maalämpö	156 587,32 €
Kaukolämpö	191 896,40 €
Erotus	35 309,08 €
Suhteellinen erotus	18 %

Kuva 10 havainnollistaa lisäksi järjestelmien välistä kustannuskehitystä 25 vuoden käyttöiän tarkastelujaksolla.



Kuva 10. Nykyarvokustannusten kehitys 25 vuoden tarkastelujaksolla.

Kuva havainnollistaa käyttökustannusten eroja; hankintahetken investointiero pienenee tasaisesti käyttökustannusvaikutuksen myötä. Vaikka kaukolämmön investointikustan-

nus on edullisempi, sen korkeammat energiakustannukset aiheuttavat jyrkemmän kustannuskehityksen. Näin ollen maalämpö saavuttaa kaukolämmön nykyarvon tason jo 13. käyttövuoden jälkeen.

6.3 Villa Hätilän tulokset 50 vuoden tarkastelujaksolla

Elinkaarikustannuksia tutkittiin myös pidemmällä aikajänteellä, jolloin alkuperäinen tarkastelujakso kaksinkertaistettiin 50 vuoteen. LVI-laitteiden tyypillinen käyttöikä on noin 25 vuotta, joten jatkotarkastelussa huomioitiin järjestelmien uusimiskustannukset. Alkuperäisen kaukolämpökeskuksen hankintakustannus 13 000 euroa asennuksineen oli tiedossa, joten samaa kustannuserää käytettiin keskuksen uusimiskustannuksia määrittäessä.

Maalämpöjärjestelmän kohdalla ei tarvitse uusia koko lämmöntuotantoyksikköä. Alkuperäiset energiakaivot ovat lähes ikuisia, koska niihin ei kohdistu merkittävää kulutusta. Näin ollen energiakentän osalta ei synny kuluja. Lämmönkeruuputkiston materiaali on syöpymätöntä muovia, joka sekin kestää energiakaivon viileissä ja valolta suojatuissa olosuhteissa jopa 100 vuotta. Itse maalämpöpumput ovat käyttökelpoisia vielä 25 vuoden jälkeenkin. Ainoita liikkuvia ja siten kuluvia osia ovat lämpöpumppujen kompressorit ja kolmitieventtiilit. [26] Maalämpöä urakoivan Lämpödiilerin toimitusjohtajan Reijo Niemen kanssa käydyssä keskustelussa 4.12.2015 selvisi, että kiinteistölämpöpumpun kompressorin hinta asettuu 5 000 ja 10 000 euron väliin riippuen sen tehosta. Esimerkikohteen kompressoreita on kaksi, joten kustannus olisi 10 000 ja 20 000 euron välillä. Kyseessä ollessa ”pienet” n. 30 kW kiinteistöpumput, uusimiskustannus arvioitiin olevan noin 16 000 euroa (8 000 euroa/kpl). Maalämpökohteessa oli lisäksi 2 suurta varaajaa. Näiden uusiminen tulisi yhtälailla ajankohtaiseksi 25 vuoden kohdalla. Haastattelussa todettiin varaajien uusimiskustannuksen asettuvan 7 000 euroon purku- ja asennustyöt huomioon ottaen. Lisäksi kummankin järjestelmän kokonaisuuteen kuuluu kiertovesipumppuja ja pienempiä venttiilejä, jotka vaativat yhtä lailla uusimisen viimeistään 25 vuoden käyttöiän kohdalla [23]. Tämän vuoksi uusimiskustannukseen lisättiin vielä 2 000 euroa kattamaan kyseiset lisäkomponentit vaihtotöineen. Tämä tarkoitti, että 50 vuoden tarkastelujaksolla, kaukolämpöjärjestelmän ylläpitokustannuksiin syntyi 15 000 euron lisäkustannus, kun sama kustannus oli maalämmölle 25 000 euroa eli 10 000 euroa enemmän kuin kaukolämmöllä.

Taulukko 5. Maalämmön elinkaarikustannusten nykyarvo 50 vuoden ajanjaksolla.

Tulokset 50 vuoden käyttöajalle – maalämpö	
Investointi	83 095,00 €
Käyttöajan kokonaiskustannusten nykyarvo	123 453,14 €
Sähköenergian osuus	109 778,78 €
Huollon osuus	4 296,44 €
Ylläpitokustannukset 25. vuoden kohdalla	25 000,00 €
Yhteensä	206 548,14 €

Taulukossa 5 on esitetty tulokset maalämmön osalta. Kustannusten nykyarvo nousi edelliseen 156 587,32 euroon verrattuna siis 49 960,82 euroa.

Taulukko 6. Kaukolämmön elinkaarikustannusten nykyarvo 50 vuoden ajanjaksolla.

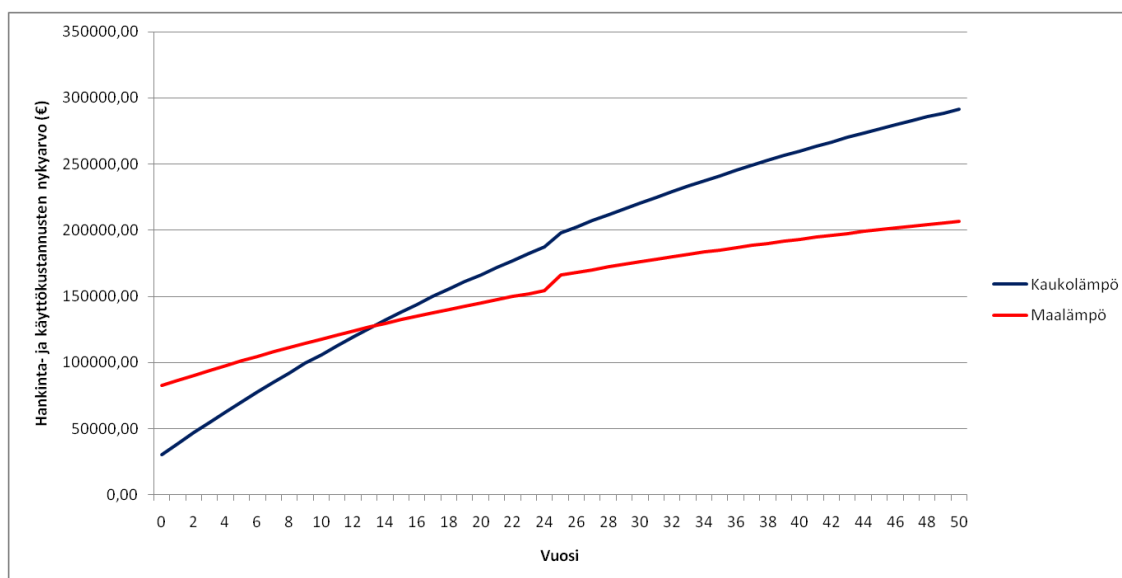
Tulokset 50 vuoden käyttöajalle – kaukolämpö	
Investointi	30 290,00 €
Käyttöajan kokonaiskustannusten nykyarvo	260 873,81 €
Kaukolämpöenergian osuus	222 802,43 €
Sähköenergian osuus	32 444,62 €
Ylläpitokustannukset 25. vuoden kohdalla	15 000,00 €
Yhteensä	291 163,81 €

Kaukolämmön kustannusten nykyarvo nousi puolestaan 291 16381 euroon 50 vuoden tarkastelujaksolla (taulukko 6).

Taulukko 7. Järjestelmien elinkaarikustannusten nykyarvovertailu 50 vuoden ajalta.

Vertailu	
Maalämpö	206 548,14 €
Kaukolämpö	291 163,81 €
Erotus	84 615,67 €
Suhteellinen erotus	41 %

Taulukon 7 avulla voidaan huomata, että 50 vuoden päästä maalämmön kustannusten nykyarvo on jopa 41 % edullisempi, kun uusimiskustannukset on huomioitu 25 käyttöiän kohdalla.



Kuva 11. Nykyarvokustannusten kehitys 50 vuoden aikana.

Kuvan 11 diagrammista nähdään, että maalämpöjärjestelmä saavuttaa kaukolämmön kustannusten nykyarvon edelleen 13. vuoden kohdalla alkuperäisestä hankintahetkestä, mutta uusimiskustannukset kaventavat risteämishetken jälkeistä eroa kustannuksissa.

6.4 Tuulentuvan tulokset 25 vuoden tarkastelujaksolla

Samaa periaatetta noudattaen verrattiin Tuulentuvan kohteen kustannusten nykyarvoa molemmille lämmitysjärjestelmille 25 käyttöajalla. Tuulentuvan kaukolämmön kulutuksen ollessa 65 630 kWh, saatiin maalämmön laskennallinen sähköenergiantarve hyödyntämällä vertailuvaiheessa määritettyä SFP-lukua. Tällöin sähköenergiantarpeeksi muodostui noin 22 260 kWh, jota vastaa taulukon 8 mukainen nykyarvokustannus 138 296,44 euroa.

Taulukko 8. Maalämmön elinkaarikustannusten nykyarvo 25 vuoden ajanjaksolla.

Tulokset 25 vuoden käyttöajalle – maalämpö	
Investointi	83 095,00 €
Käyttöajan kokonaiskustannusten nykyarvo	55 201,44 €
Sähköenergian osuus	52 077,02 €
Huollon osuus	3 124,42 €
Yhteensä	138 296,44 €

Kaukolämmön erittely on puolestaan esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Kaukolämmön elinkaarikustannusten nykyarvo 25 vuoden ajanjaksolla.

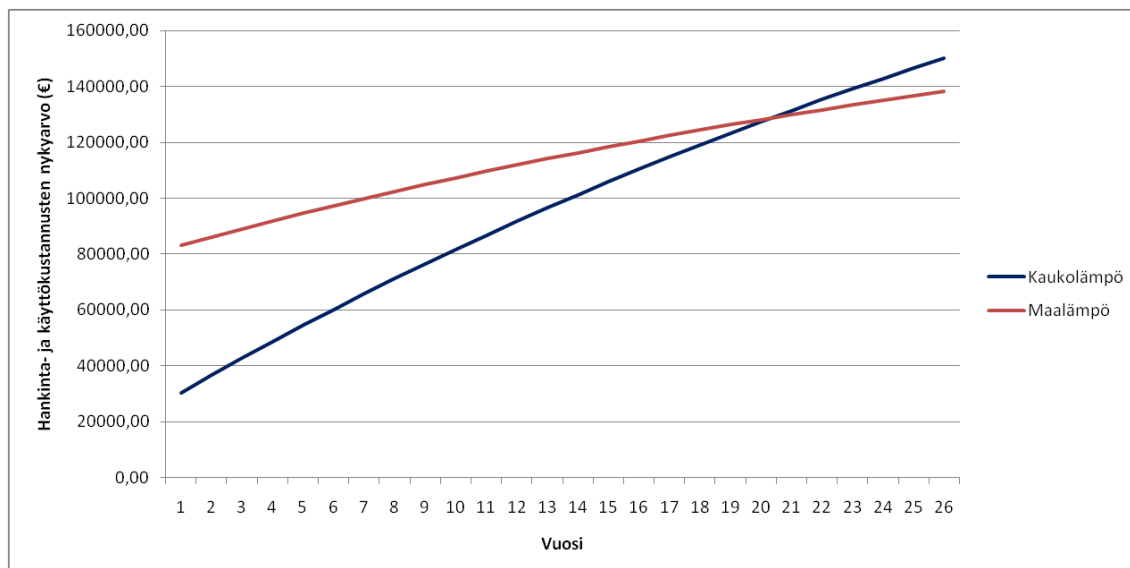
Tulokset 25 vuoden käyttöajalle – kaukolämpö	
Investointi	30 290,00 €
Käyttöajan kustannukset	119 767,16 €
Kaukolämpöenergian osuus	99 372,44 €
Sähköenergian osuus	20 394,72 €
Yhteensä	150 057,16 €

Taulukon 10 mukaisesta erittelystä nähdään, että Tuulentuvan kiinteistössä maalämmön kustannukset ovat noi 8 % edullisemmat. Ero ei ole niin merkittävä kuin Villa Häitilässä, mutta tulokseen vaikuttaa luonnollisesti eri lämmitysenergian tarve.

Taulukko 10. Järjestelmien elinkaarikustannusten nykyarvovertailu 25 vuoden ajalta.

Vertailu	
Maalämpö	138 296,44 €
Kaukolämpö	150 057,16 €
Erotus	11 760,72 €
Suhteellinen erotus	8 %

Kuvan 12 mukainen diagrammi havainnollistaa lisäksi kustannusten kehitystä ja ajan-kohtaa, jolloin maalämpö saavuttaa kaukolämmön kustannukset. Johtuen pienemmistä kulutuslukemista säästöt kehittyvät hitaammin, ja maalämpö saavuttaa kaukolämmön tason vasta 20. käyttövuotena.



Kuva 12. Nykyarvokustannusten kehitys 25 vuoden tarkastelujaksolla.

6.5 Tuulentuvan tulokset 50 vuoden tarkastelujaksolla

Tuulentuvan kohteen ratkaisuja vertailtiin lisäksi 50 vuoden käyttöiällä, uusimiskustannukset huomioituna.

Taulukko 11. Maalämmön elinkaarikustannusten nykyarvo 50 vuoden ajanjaksolla

Tulokset 50 vuoden käyttöajalle – maalämpö	
Investointi	83 095,00 €
Käyttöajan kokonaiskustannusten nykyarvo	93 906,80 €
Sähköenergian osuus	80 232,45 €
Huollon osuus	4 296,44 €
Ylläpitokustannukset 25. vuoden kohdalla	25 000,00 €
Yhteensä	177 001,80 €

Taulukossa 11 on esitetty maalämmön kustannukset ja taulukossa 12 vastaavat lue-
mat kaukolämmölle.

Taulukko 12. Kaukolämmön elinkaarikustannusten nykyarvo 50 vuoden ajanjaksolla

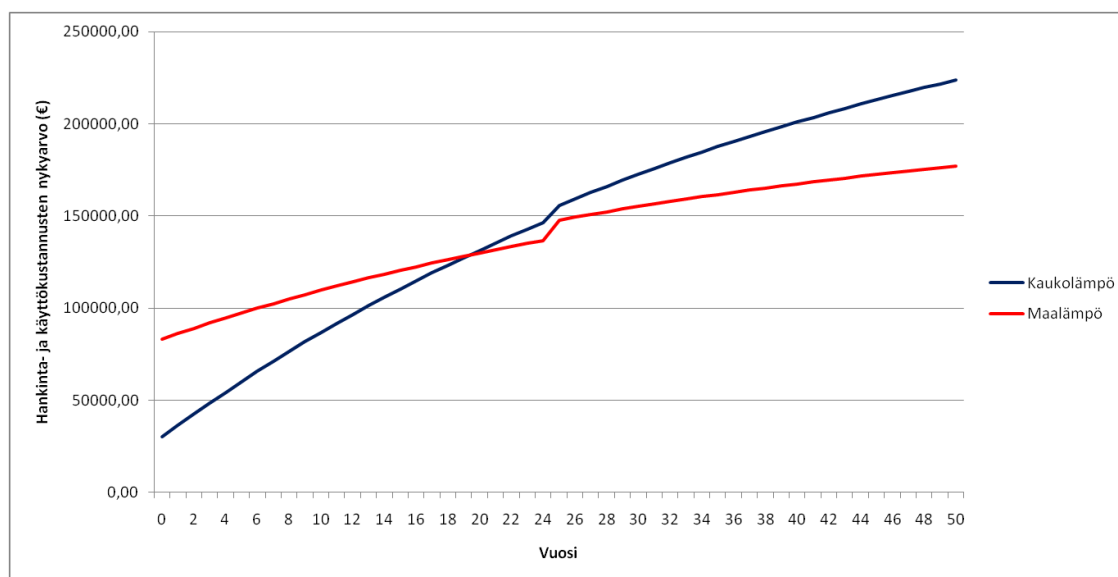
Tulokset 50 vuoden käyttöajalle – kaukolämpö	
Investointi	30 290,00 €
Käyttöajan kokonaiskustannusten nykyarvo	193 285,91 €
Kaukolämpöenergian osuus	155 214,53 €
Sähköenergian osuus	32 444,62 €
Ylläpitokustannukset 25. vuoden kohdalla	15 000,00 €
Yhteensä	223 575,91 €

Taulukon 13 vertailu osoittaa Tuulentuvan lämmitysenergian tarpeella järjestelmien kustannusten eroksi 50 vuoden aikana noin 26 %.

Taulukko 13. Järjestelmien elinkaarikustannusten nykyarvovertailu 50 vuoden ajalta.

Vertailu	
Maalämpö	177 001,80 €
Kaukolämpö	223 575,91 €
Erotus	46 574,10 €
Suhteellinen erotus	26 %

Kuvan 13 diagrammista voidaan tarkastella vielä kustannusten kehitystä. Uusimiskustannukset 25. vuoden kohdalla viivästyttävät kustannuseron kasvua hieman, mutta kehitys on kuitenkin selvästi nähtävissä ja osoittautuu edelleen maalämmön eduksi.



Kuva 13. Nykyarvokustannusten kehitys 50 vuoden aikana.

6.6 Yhteenveto

Kun tarkastellaan järjestelmien elinkaarikustannuksia 25 vuoden aikana voidaan todeta maalämmön olevan kannattavampi lämmitysjärjestelmä. Villa Hätilän tapauksessa 18 % suhteellinen ero oli merkittävämpi kuin Tuulentuvan tapauksessa, jossa eroa syntyi 10 prosenttiyksikköä vähemmän. Tulokseen vaikuttaa luonnollisesti kohteen energiankulutus, jolloin kustannuserot ovat merkittävämmät. Säästöt karttuvat tällöin nopeammin ja järjestelmien kokonaiskustannukset saavuttavat saman tason hyvinkin nopeasti investointihetken suuristakin eroista huolimatta. Maalämmön investointikustannukset ovat peräti yli 50 000 € arvokkaammat kaukolämpöön verrattuna. Hankintahetken kustannukseen vaikuttaa merkittävästi energiakaivojen poraus, joka maksaa lähes yhtä paljon kuin varsinainen maalämpölaitteisto.

Tutkimuksessa tarkastelujaksoa pidennettiin molempien kohteiden tapauksessa vielä 50 vuoden käyttöiälle. Kehityksen suunta pysyi samana: vaikka maalämmön uusimiskustannus toisen tarkastelujakson alussa oli 10 000 euroa kalliimpi kuin kaukolämmön, olennaista kehityksessä on maalämmön ja viilennysjärjestelmän käyttökustannusten edullisuus. Uusimiskustannusten vuoksi kustannusero ei kasva aivan niin jyrkästi kuin tilanteessa ilman uusimistoimenpiteitä.

Tuloksia tarkasteltaessa on syytä huomioida vertailussa käytetyt investointikustannukset. Villa Hätilän lämmitysenergiankulutus on suurempi kuin Tuulentuvan, jolloin todennäköisesti kaukolämpöpaketin teho ei riittäisi vaan tarvittaisiin tehokkaampi keskus. Tämä nostaa kaukolämmön investointikustannuksia, jolloin maalämmön kannattavuus paranee entisestään. Sama havainto voidaan tehdä Tuulentuvan tarkastelussa. Tuulentuvan tapauksessa Hätilän maalämpöjärjestelmä puolestaan olisi turhan tehokas, jolloin pienempi investointi riittäisi. Kummassakin tapauksessa maalämmön kannattavuus korostuu.

Tarkastelut tukevat vahvasti käsitystä maalämmön edullisuudesta erityisesti isommissa kiinteistöissä, joissa lämmitysenergian tarve on suurta. Mitä suurempaa kulutus on, sitä nopeammin taloudelliset säästöt ja jopa tuotot ovat saavutettavissa.

7 Maalämmön haasteet ja asiantuntijoiden näkemykset

Yhtenä toimeksiantajan toiveista oli, että tutkimuksessa voitaisiin perehtyä myös jossain määrin maalämpöön liittyviin haasteisiin ja ongelmiin sekä niiden ratkaisuihin. Ta-voitteeksi asetettiin vikaherkkyyden ja yleisimpien ongelmien kartoittaminen sekä onnistuneiden järjestelmien avaintekijöiden selvittäminen. Järjestelmiin pureuduttiin haastatteleamalla Etelä-Suomen alueella toimivia maalämpöurakoitsijoita kokemuksistaan isojen kiinteistöjen maalämpöjärjestelmien parissa. Lisäksi haastateltiin hoivakotien rakennuttajaa maalämpöön liittyen. Henkilökohtaiseen haastatteluun osallistuivat seuraavat osapuolet:

- Reijo Niemi, toimitusjohtaja, Lämpödiileri Oy
- Petri Laine, asennuspäällikkö, Lämpödiileri Oy
- Anna Luoma, energia-asiantuntija, Senera Oy
- Pekka Karsimus, rakennuttajapäällikkö, Tyvene Oy.

7.1 Maalämmön tekniikan luotettavuus

Kaikkien haastatteluun osallistuneiden tahojen kanssa voitiin todeta, että kaikkien markkinoiden myydyimpien lämpöpumppujen tekniikka on yhtä laadukasta ja toimintavarmaa merkistä riippumatta. Laitteiden kehitys on viime vuosina ollut tehokasta ja tuotteet ovat nykyään äärimmäisen luotettavia. Ongelmat syntyvätkin monesti varsinaisen järjestelmän toteutusvaiheessa. Syynä voidaan yleisesti pitää suunnittelijan, asentajien ja käyttäjien ymmärtämättömyyttä, jolloin hyväkin laite menettää potentiaalinsa. Niin suunnittelijan kuin kokeneen asentajan merkitystä ei voida korostaa tarpeeksi.

Lämpödiilerin asennuspäällikön mukaan laiteperäisiä ongelmia on heidän historiassaan ollut hyvin vähän, ja eniten ”ongelmia” on antureiden sijoittelussa tai niiden toiminnassa, mutta ongelmat ratkeavat usein anturin paikkaa muuttamalla tai yksinkertaisella anturin vaihdolla. Teknisten ongelmien joukkoon voidaan lukea myös harvoin vaihdettavat piirikortit, joiden vioittumiseen liittyy lähes poikkeuksetta ukonilman aiheuttama vahinko. Toki yksittäisiä kompressorin vaihdoksia tai vaihtoventtiilivikojakin on, mutta ne ilmenevät hyvin pian käyttöönoton jälkeen ja ovat siten takuun piirissä.

Tekniset, tehtaalta asti kulkeutuneet tekniset ongelmat ovat maalämpöpumpuissa erittäin harvinaisia. Maalämpöpumpun tekniikka on täysin samanlainen valmistajasta riippumatta, ja kovan kilpailun vuoksi ei huonolle laadulle ole varaa. Erottuakseen joukosta valmistajat korostavat mielellään COP-lukua, mutta tosiasiassa testausolosuhteet poikkeavat aina hieman todellisista käyttöolosuhteista. Lisäksi unohdetaan monesti, että maalämpöpumppu on vain yksi osa lämmitysjärjestelmää ja hyvän hyötysuhteen saavuttamiseksi, on koko lämmitysjärjestelmä oltava viisaasti ja laadukkaasti toteutettu.

7.2 Mitoituksen haasteet

7.2.1 Energiakaivot

Mitoituksen merkitys korostuu aina isojen kohteiden tapauksessa, kun riskit toimintavarmuudessa ja kustannustehokkuudessa ovat suuremmat. Mitoitusprosessi on myös monella toimijalla erilainen ja voi aiheuttaa tilaajalle ongelmia vertailtavuudessa. Monet energiakaivojen porauksiin erikoistuneet yritykset ovatkin ottaneet käyttöön TRT-mittaukset. TRT eli terminen vastetesti vahvistaa maaperän ja nimenomaan kallion lämmönsiirtokyvyn halutussa kohteessa. Kalliolajikkeiden lämmönjohtavuus on Suomessa 2,5–3,5 W/mK, mikä merkitsee suurta hajontaa vuosittain saatavassa energiamäärässä. Lisäksi mittaus huomioi porareianvastuksen, joka puolestaan ilmaisee lämmönjohtavuusprosessia kallion seinämästä keruuliukseen. Geoenergian mittaustulokset vaikuttavat merkittävästi kaivojen määrään ja syvyyteen sekä sitä kautta valittavien laitteiden valintaan ja edelleen kustannuksiin. Tarkalla mitoituksella vältetään ikäviltä ali- tai ylimitoituksilta, joiden korjaaminen tulee aina kalliiksi. Toinen saavutettava hyöty on, että vaadittava porausurakka saadaan yhdenmukaistettua ja eroja järjestelmien toimittajien välillä karsittua. [27]

Etelä-Suomen alueella kaivoista saatava lämpöenergianmäärä on yleensä noin 110–150 kWh/m. Hyvin yleisesti käytetään alarajan arvoa 110 kWh, jolloin mitoitus ei ole ylioptimistinen. Pieni määrä ylimääräisiä porausmetrejä ovat monesti kannattava sijoitus ja minimoi alimitoituksen riskin. Näin ollen esimerkiksi 100 000 kWh kuluttavan rakennuksen tarvittava poraussyvyys olisi noin 910 metriä, mikä tarkoittaa viittä 180 metrin pituista kaivoa. [28]

Energiakaivojen poraamisessa on huomioitava kaivojen sijoittelu tontilla. Jotta kaivot eivät ”varastaisi” energiaa toisiltaan, on niiden välisen etäisyyden oltava noin 20 metriä,

mutta pienet tontit usein estävät tämän toteutumisen. Onkin yleistä, että kaivoja porataan useampi samasta maanpinnan pisteestä, mutta ne porataan vinoon, jolloin suositeltu etäisyys 20 metriä toteutuu kaivojen pohjalla. Tällöin maanpinnan läheisyydessä kaivot ovat kuitenkin edelleen hyvin lähellä toisiaan, ja energiansaanti voi häiriintyä. Kentän suunnittelussa kannattaakin aina kuulla alan asiantuntijaa.

7.2.2 Maalämpölaitteisto

Laitteiden osa- ja täystehomitoitus ovat hyvin pitkälle makuasioita. Yleisesti käytössä olevalla osatehomitoituksella voidaan kuitenkin säästää investointikustannuksissa, kun kohteeseen valitaan teholtaan hieman pienempi pumppu ja energiakaivon syvyys määritellään. Tämä voi merkitä useamman vuoden säästöä takaisinmaksuajassa. Osatehomitoituksen ajatuksena on, että energialaskelmien takana vaikuttavat mitoitusolosuhteet ovat harvinaisia ja huipputehontarve toteutuu harvoin, jos ollenkaan. Osatehomitoituksessa tehontarpeesta huomioidaankin yleensä 50–80 %. Tällöin lämpöpumppu kattaa silti 97–99 % lämmityksen huipputehontarpeesta. Vertailukohteen Villa Hätilänkin mitoituksen tapauksessa noin 5 % eli 2 500 kWh järjestelmän vuotuisesta sähkönkulutuksesta oli suunniteltu sähkövastuksilla tuotettavaksi energiaksi. Vastuksen lyhyen aikaa vuodesta lisäsähköllä tuottama lämpö ei aiheuta niin suuria kustannuksia, että täysitehoisen järjestelmän investointi tulisi kannattavammaksi. Kuitenkin ymmärrettävää on myös toinen näkökulma, jonka mukaan laitteistontehtävänä ei ole käyttää sähköenergiaa vaan hyödyntää maaperän ”ilmaista” lämpöenergiaa ja vähentää näin myös kasvihuonepäästöjä.

Osatehomitoituksessa oleellista on prosenttiosuus, jolla mitoitus tehdään. Tässä syntyy suuria eroja laitetoimittajien välillä, jolloin vertailtavuuden helpottamiseksi on tilaajan hyvä asettaa haluttu mitoitusuhde osaksi tarjouspyyntöä.

7.3 Suunnittelun puutteellisuus

Viesti haastateltavilta oli hyvin selkeä sen suhteen, että yhteistyötä suunnittelijoiden kanssa toivottaisiin enemmän. Maalämpöjärjestelmälle ei voida luoda yleistä toteutusmallia, vaan jokaista kohdetta on tarkasteltava yksilöllisesti erityistarpeet huomioiden. Kiinteistölämpöpumppujen tapauksessa suunnittelu on haasteellista korostuneen lämmitystarpeen vuoksi. Esimerkiksi palvelu- ja hoivakotien tapauksessa ei ole yhdenteke-

vää, kuinka merkittävä lämpimän käyttöveden tarve saavutetaan ja miten moninkertainen ilmanvaihdon lämmitys toteutetaan energiatehokkaasti. Luvussa esitetyt laitteiden pääkomponentit ovat yleensä samat, mutta laitteessa voi olla esimerkiksi yhden kompressorin sijasta kaksi tai lämmönsiirtimiä voi olla useampia. Kun tähän otetaan mukaan mitoitusperusteet, on selvää, että vain asiantuntija pystyy tarjoamaan tarvittavaa tietoa. Maalämpöjärjestelmien toteuttajat olivat yhtä mieltä siitä, että maalämpöurakka tulisi suunnittelua myöten kilpailuttaa omana urakkanaan sen sijaan, että se alistettaisiin putkiurakkaan. Putkiurakoitsija yleensä toteuttaa järjestelmän alihankintana, ja se harvoin pystyy kriittisesti tarkastelemaan saamiaan tarjouksia saati niiden eroavaisuuksia. Monesti halvin hinta voittaa, ja sillä ei aina taata laatua.

Mikäli kohteen LVI-suunnittelija ei pysty tarjoamaan tarvittavaa asiantuntemusta ja kokemusta, olisi suositeltavaa suunnitteluttaa maalämpöjärjestelmä kokeneella urakoitsijalla. Tarjousvaiheessa moni urakoitsija näkee vaivaa kohteen suunnittelun eteen, mutta työ menee hukkaan, mikäli urakkaa ei saadakaan. Suunnittelu olisikin viisasta eriyttää omaksi vaiheekseen, jolloin korvaus on taattu ja silloin se myös tehdään asiallisesti.

7.4 Asennus- ja käyttövirheet

Asennuspuoli on kokemusten mukaan kirjavaa. Tekijöitä on alalla paljon, mutta harvalla on riittävä kokemus. Omakotitalokohteen asennus on yksinkertaisempaa, mutta isojen kiinteistöjen tapauksessa asentajan täytyy jo omata erilainen kokemus ja kriittisyys. Asiantunteva asentaja on kullan arvoinen varsinkin silloin, kun suunnittelussa on puutteita. Haastatteluissa ilmi tulleiden huonojen käyttökokemusten piiriin on kuulunut muuan muassa väärin asennettu kiertovesipumppu ja 3-tieventtiili, usein väärin viritetyt toimintalämpötilat ja puutteellisen huollon takia huomaamatta jäänyt tukkeutunut suodatin tai vuotava putkiliitos. Tällaiset tapaukset korostavat laadunvarmistuksen tärkeyttä ja oman työn tarkastuksen tarpeellisuutta. Monessa kohteessa laiminlyödään myös huoltoa ja seurantaa. Vaikka maalämpö on laitteistona hyvin huoleton, on sitäkin valvottava. Sähkönkulutusta ja laitteesta saatavia käyntitietoja seuraamalla voidaan toiminnan optimaalisuutta ja puuttua mahdollisiin virheisiin. Vaikka laite toimii ja lämmitys on tasaista, ei se aina tarkoita, että laitteisto käy energiatehokkaasti. Monipuoliseen mittarilaitteistoon kannattaa sijoittaa, sillä se helpottaa seurantaa. Usein kohteen asentavan urakoitsijan kanssa on kannattavaa sopia tarkastuskäynneistä lämmitysjakson

alkaessa ja päättyessä, jolloin asetukset asetetaan kohdilleen. Kohteen itse asentaneella yrityksellä on lisäksi myönteinen intressi järjestelmän ylläpitoa kohtaan.

8 Päätelmät

Työssä tutkittiin kahden alle 1000-neliöisen, 15-paikkaisen hoivakotikiinteistön lämmitysenergian kulutusta. Tutkimuksella haluttiin todentaa maalämmitysjärjestelmän kulutuksen edullisuutta kaukolämpöjärjestelmään verrattuna. Kulutustuloksia hyödynnettiin edelleen lämmitysjärjestelmien elinkaarikustannusten määrittämiseksi 25 ja 50 vuoden käyttöajoilla. Laskelmissa hyödynnettiin lisäksi toimeksiantajan, rakennuttajan ja LVI-urakoitsijan luovuttamia kustannuslukemia.

Lämmitysenergian kulutusvertailu osoitti, että maalämmön hyödyntämän ilmaisenergian ja sähkön hinnan edullisuuden ansiosta maalämpö on kannattavampi lämmitysratkaisu vähintään tämän kokoluokan kohteissa. Kulutusvertailussa huomioitiin eri paikkakuntien sijainnit ja lyhyt tarkastelujakso normeeraamalla kulutuslukemat lämmitystarvelukujen avulla normaalivuodelle Jyväskylän tarkasteluasemalle. Elinkaarikustannuslaskelmat osoittivat maalämmön kokonaiskustannukset edullisemmaksi 25 vuoden käyttöajalla, johtuen maalämmön merkittävästi edullisemmista käyttökustannuksista. Uusi-mishetkeä seuraavan toisen 25 vuoden jakson aikana maalämpö kasvatti etuaan entisestään. Tutkimus oli onnistunut, sillä käytössä oli hyvin paljon todellisia, toteutuneita kulutus- ja kustannuslukuja. Kaikkia tarvittavia investointikustannuksia ei löytynyt, mutta niiden sijaan käytettiin kokeneiden urakoitsijoiden arvioita realistisesta kustannuksesta. Koska järjestelmät ovat aina yksilöllisiä, on huomioitava, ettei tuloksia voida suoraan soveltaa suoraan samanlaisiin kohteisiin vaan jokaista kohdetta tulee tarkastella erikseen.

Tuloksia arvioitaessa on huomioitava, että Villa Hätilän maalämpölaitteiston varajärjestelmä osoittautui tutkimuksessa tarpeettomaksi. Tämän perusteella maalämpölaitteet on hankittu vähintään täysitehoisina, mikä on kasvattanut investointikustannuksia jonkin verran tarpeettomasti. Lämpöpumppujen mitoituslaskelma oli laadittu aiemman toteutuneen kulutuksen perusteella, jossa lämmitysenergian tarve oli 210 000 kWh ja lämmitystehontarve puolestaan 78 kW. Mitoituslaskelma ei vaikuta perustuneen pelkästään energiatodistuksen mukaiseen lämmitysenergian tarpeeseen. Todennäköisesti mitoituksessa on siis ylitetty kohteen laskennalliset arvot, jolloin kohteessa olisi riittänyt vähemmän tehokas lämmitysyksikkö. Tällöin laskelmien hankintakustannus olisi pienempi, ja maalämmön kustannukset saavuttaisivat kaukolämmön nykyarvon entistä nopeammin. Maalämpöjärjestelmien haasteista huolimatta kannustaisin toimeksiantajaa edelleen sijoittamaan maalämpöjärjestelmiin, tutustumaan niiden toteutusmahdolli-

suuksiin ja seuraamaan kulutusta kohdistettujen kulutusmittareiden avulla laajemman tutkimusalueen ja vertailupohjan saavuttamiseksi.

Lisäksi maalämpökohteen lämmitysenergian kulutusta selvittäessä huomattiin, että lämpöpumput eivät käyneet optimaalisesti. Koneiden käyntiajat eivät olleet tasapainossa, ja puhelinkeskustelussa laitetoimittaja ehdotti laitteiden asetusten tarkastamista. Lyhyet käyntijaksot lisäävät energiankulutusta ja rasittavat kompressoreita. Toimeksiantajan tulisikin valvoa, että tarvittavat hienosäädöt todella suoritetaan laitteet parhaiten tuntevan maahantuojan asiantuntijan toimesta.

Pohdintaa

Tämän insinööriyön laskelmat ja tarkastelut perustuvat ainoastaan osittain todellisiin arvoihin. Osassa tiedoista on tukeuduttu yleisiin vakioihin ja laskennallisiin arvoihin. Työn tuloksiin tulee suhtautua kriittisesti. Kattavammilla tiedoilla olisi mahdollista toteuttaa tarkempia kustannusarvioita ja maalämmön toiminnan kannalta tärkeää mittaustietoa olisi ehdottomasti järjestelmän tuottaman lämpöenergian määrä. Laskelmien suunta on kuitenkin oikea ja tukee yleistä käsitystä maalämpöjärjestelmien kustannustehokkuudesta erityisesti isommissa kiinteistöissä.

Tiedot lämmitysenergiankulutuksen eroista ovat merkittäviä kiinteistönpidon kannalta. Maalämmitys tarjoaa monia vartenotettavia vaihtoehtoja perinteisen tilalämmityksen lisäksi, ja se voi luoda merkittäviä säästöjä energiakustannuksissa. Maalämmön hyödyntäminen ilmanvaihdon jälkilämmityspatterin yhteydessä on tavallista. Maalämpöä voidaan kuitenkin lisäksi hyödyntää myös ilman esilämmityksessä, jolloin voidaan säästää varsinaisen lämmityspatterin tehossa. Kuten vertailukohteiden tapauksessa voitiin huomata, myös viilennyksen edullisuus tuo merkittäviä säästöjä käyttökustannuksissa. Maaviileän sähkönkulutus on erittäin vähäinen verrattuna erilliseen kompressorilla varustettuun jäähdytyslaitteeseen ja voi olla vartenotettava vaihtoehto pelkäksi jäähdytysjärjestelmäksi esimerkiksi perinteisen kaukolämmitysjärjestelmän rinnalle. On uskottavaa, että lämmityksen tarve tulevaisuudessa tulee vähenemään entisestään, mutta viilennyksen tarve puolestaan kasvaa.

Lähteet

- 1 Direktiivit. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<<http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit>>. Päivitetty 16.7.2015.
Luettu 9.10.2015.
- 2 Ilmastomuutoksen hillitseminen. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastomuutoksen_hillitseminen>. Päivitetty 9.6.2015. Luettu 9.10.2015.
- 3 1/14 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta. 2014. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <[http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Energiatehokkuus_huomioon_luvanvaraisess\(3871\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Energiatehokkuus_huomioon_luvanvaraisess(3871))>. Julkaistu 19.8.2014. Luettu 10.10.2015.
- 4 Stammeier, Hanna. 2014. Energiankulutus elinkaarilaskennassa. Luentokalvo. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 5 Lainsäädäntö ja ohjeet maankäytössä ja rakentamisessa. 2015. Ympäristöministeriö. Verkkodokumentti. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet>. Luettu 12.10.2015.
- 6 4/13 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma> Julkaistu 27.2.2013. Luettu 14.10.2015.
- 7 Räihä, Marko. 2013. Energiatehokkuuden parantaminen Kirkkokujan palvelutalossa. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu.
- 8 Korjausrakentamisen energiamääräykset. 2012. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.
<http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/images/stories/File/Ajankohtaista%20yhdistykses/Syyskokousseminaari2012/Kauppinen_14112012.pdf> Luettu 14.10.2015.
- 9 Rakennuksen energiatodistus uudistuu. 2013. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö.
<https://moodle.metropolia.fi/pluginfile.php/344212/mod_resource/content/0/Luento%202.%20Energiatodistus_YM.pdf> Luettu 15.10.2015.
- 10 Energiatodistus. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
<<http://energiatodistus.motiva.fi/mika-on-energiatodistus/>>. Päivitetty 17.6.2015.
Viitattu 15.10.2015.

- 11 Rakentamismääräyskokoelma. D3 (2012) Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 12 FinZEB-hanke. 2014. Verkkodokumentti. <<http://finzeb.fi/tausta-ja-tavoitteet/>> Luettu 16.10.2015.
- 13 Oksanen, Henri. 2015. Asuinkerrostalon maalämpöjärjestelmän optimointi uudis- ja korjausrakentamiskohteissa. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- 14 Miksi maalämpö? 2015. Verkkodokumentti. Senera Oy. <<http://www.senera.fi/Maalampo/>> Luettu 6.11.2015.
- 15 Maalämpöpumpun ja maalämmön valinta. 2013. Verkkodokumentti. Lämpövinkki Oy. <<http://www.lampovinkki.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/ladattavatoppaatjatyoka-lut/Maalampopumpun%20ja%20maalämmön%20valinta%20pikaopas.pdf>>
- 16 Maalämpöpumpun toimintaperiaate. 2011. Verkkodokumentti. Kaukora Oy. <<http://www.kaukora.fi/lampopumppulammitys/maalampopumput>>
- 17 Kulutuksen normitus. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus>. Päivitetty 28.7.2015. Luettu 10.12.2012.
- 18 Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. 2014.. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos <<http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>> Päivitetty 20.1.2014. Luettu 16.12.2015.
- 19 Talotekniikan elinkaarikustannukset. 2007. Verkkodokumentti. VTT. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf>> Luettu 22.11.2015.
- 20 Stammeier, Hanna. 2014. Elinkaarikustannuslaskelmat eli LCC-laskelmat. Luentokalvo. Metropolia Ammattikorkeakoulu
- 21 Myyryläinen, Leevi. 2008. Teknisen huollon käsikirja. Gummerus Kirjapaino Oy.
- 22 Talotekniikan elinkaaritarkastelut. 2001. Suomen talotekniikan kehityskeskus Oy. Forssan Kirjapaino Oy.
- 23 LVI 01-10424. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. 2008. Helsinki. Rakennustieto Oy.
- 24 Tukien ehdot ja suositukset. 2013. Verkkodokumentti. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. <<http://www.ara.fi/fi->

FI/Rahoitus/Tukien_ehdot_ja_suosituks>. Päivitetty 21.10.2015. Luettu 8.1.2016.

- 25 Kaukolämmön asema Suomen energiajärjestelmässä tulevaisuudessa. 2011. Verkkodokumentti. Pöyry Management Consulting Oy.
http://energia.fi/sites/default/files/kaukolammon_asema_suomen_energiajarjestelmassa_tulevaisuudessa_poyrypdf.pdf
- 26 Lämpökaivo. 2015. Verkkodokumentti. JH-Lämpö Oy. <<http://www.jh-lampo.fi/?cat=useinkysyttya&id=147069>>. Luettu 13.1.2016.
- 27 Optimoidun geoenergiakentän suunnittelu. Tuote-esite. Rototec Oy.
- 28 Niemi, Reijo. 2015. Toimitusjohtaja, Diileri Finland Oy. Vantaa. Haastattelu 4.12.2015.
- 29 Luoma, Anna. 2015. Energia-asiantuntija, Senera Oy. Vantaa. Haastattelu 15.12.2015.
- 30 Karsimus, Pekka. 2015. Rakennuttajapäällikkö, Tyvene Oy. Helsinki. Haastattelu 11.12.2015.